



UTILIZAREA RADIAȚIILOR IONIZANTE PENTRU CONSERVAREA PATRIMONIULUI CULTURAL TANGIBIL

UTILIZAREA RADIAȚIILOR IONIZANTE
PENTRU CONSERVAREA
PATRIMONIULUI CULTURAL TANGIBIL

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României
Utilizarea Radiațiilor Ionizante pentru Conservarea
Patrimoniului Cultural Tangibil / trad. din limba engleză:
Corneliu C. Ponta. - Măgurele :

Editura Horia Hulubei, 2019
Conține bibliografie
ISBN 978-606-94603-8-2

I. Ponta, Corneliu Cătălin R. (trad.)

53

Tehnoredactor: Adrian Socolov

Coperta 1: Catapeteasma bisericii din comuna Izvoarele – Prahova, după
tratamentul de dezinfecție prin iradiere la IRASM – IFIN-HH; foto: Adrian
Socolov

AGENȚIA INTERNAȚIONALĂ PENTRU ENERGIE ATOMICĂ

SERIA TEHNOLOGII CU RADIAȚII – Nr. 6

UTILIZAREA RADIAȚIILOR IONIZANTE
PENTRU CONSERVAREA
PATRIMONIULUI CULTURAL TANGIBIL

Traducere din limba engleză de

CORNELIU C. PONTA

Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizică și Inginerie Nucleară
Horia Hulubei

Editura Horia Hulubei

MĂGURELE, 2019

Cartea
NU SE COMERCIALIZEAZĂ

Versiunea electronică poate fi descărcată gratuit din pagina web
www.nipne.ro

Versiunea tipărită poate fi solicitată la IFIN-HH
Str Reactorului, Nr. 30, Măgurele – Ilfov, MG-6, 077125, Romania
+(4021) 404.23.00; fax: +(4021) 457 4440
secretariat@nipne.ro; cponta2013@gmail.com

Versiunea autentică, în limba engleză, poate fi descărcată gratuit la
<http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10937/Uses-of-Ionizing-Radiation-for-Tangible-Cultural-Heritage-Conservation>

Această carte este o traducere a publicației „Uses of Ionizing Radiation for Tangible Cultural Heritage Conservation, IAEA Radiation Technology Series No. 6 © the International Atomic Energy Agency, 2017”.

Traducerea a fost pregătită de Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizică și Inginerie Nucleară „Horia Hulubei”, sub egida Agenției Nucleare și pentru Deșeuri Radioactive. Versiunea autentică a acestui material este versiunea în limba engleză distribuită de IAEA sau de către persoane autorizate în numele IAEA. IAEA nu acordă nici o garanție și nu își asumă nici o responsabilitate pentru exactitatea, calitatea, autenticitatea sau prelucrarea acestei traduceri și a publicării sale și nu își asumă răspunderea pentru nici o pierdere sau daună, care ar putea rezulta pe cale de consecință sau altfel, direct sau indirect, din utilizarea acestei traduceri.

PRECIZARE LEGATĂ DE COPYRIGHT: Permisivitatea de a reproduce și de a traduce această publicație, a fost obținută în scris de la International Atomic Energy Agency, Centrul Internațional Viena, P.O. Box 100, 1400 Viena, Austria, printr-o înțelegere tripartită semnată de *International Atomic Energy Agency, Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizică și Inginerie Nucleară „Horia Hulubei” și Agenția Nucleară și pentru Deșeuri Radioactive*. Intrarea în exercițiu – 14 noiembrie 2018.

CUVÂNT ÎNAINTE

la ediția în limba engleză

Moștenirea culturală este zestrea alcătuită din artefacte fizice, tangibile și din atributele intangibile ale unui grup sau a unei societăți, preluată din trecut și menținută în beneficiul generațiilor viitoare. Moștenirea culturală tangibilă include opere de artă, artefacte în colecții muzeale, cărți, manuscrise, desene, documente de arhivă, instrumente muzicale, obiecte etnografice, descoperiri arheologice, colecții de istorie naturală, clădiri și locuri istorice, monumente și obiecte de patrimoniu industrial. Muzeele de astăzi au devenit instituții importante nu numai pentru cultură, ci și pentru turism, economie și identitate națională. Studiarea și păstrarea în cele mai bune condiții a obiectelor de artă și a altor artefacte de patrimoniu cultural pentru generațiile viitoare, reprezintă o provocare semnificativă.

Aplicarea metodelor științifice de conservare pentru materialele artistice și arheologice are o tradiție îndelungată, iar instituții precum Organizația Națiunilor Unite pentru Educație, Știință și Cultură (UNESCO), Consiliul Internațional al Muzeelor – Comitetul pentru Conservare (ICOM-CC), Centrul Internațional de Studii pentru Conservarea și Restaurarea Proprietății Culturale (ICCROM) și Programul Națiunilor Unite pentru Mediu (UNEP) au promovat utilizarea tehnicilor științifice de către curatorii muzeelor și cercetătorii din domeniul patrimoniului cultural. AIEA, în calitate de principal susținător al utilizării pașnice a tehnologiilor nucleare, a sprijinit laboratoarele din statele sale membre să dezvolte și să aplice metode nucleare în cercetarea patrimoniului cultural pentru dezvoltarea socio-economică în economiile emergente. Tehnicile bazate pe radiații ionizante sunt acum recunoscute ca instrumente importante pentru examinarea, caracterizarea și analiza obiectelor de artă sau a altor artefacte ale patrimoniului cultural și a materialelor componente ale acestora.

Conservarea artefactelor de patrimoniu cultural continuă să fie o provocare serioasă, deoarece o varietate de factori, cum ar fi condițiile de depozitare necorespunzătoare, schimbările climatice sau adversități precum inundațiile, duc la deteriorarea sau pierderea patrimoniului cultural

în toată lumea. Pentru tratarea și restaurarea artefactelor patrimoniului cultural au fost dezvoltate atât metode chimice cât și fizice. Metodele chimice pot lăsa în artefactul tratat substanțe chimice nedorite, iar multe metodele fizice clasice folosesc condiții extreme, care nu sunt adecvate pentru anumite tipuri de materiale. Eforturile programelor de cercetare naționale și internaționale dedicate dezvoltării metodologiilor armonizate pentru tratamentul cu radiații au condus la acceptarea tehnologiei cu radiații pentru tratarea artefactelor patrimoniului cultural. Și AIEA a inițiat, de asemenea, mai multe proiecte pentru a sprijini aplicarea tehnicilor nucleare în cercetarea patrimoniului cultural.

Această carte a rezultat din activitatea de cooperare a unui grup de experți convocați de AIEA în octombrie 2014. Scopul cărții este de a oferi cunoștințe de ultimă oră despre aplicarea tehnologiei radiațiilor pentru dezinfecție și consolidare. Ea este adresată comunității specialiștilor în conservare (conservatori/restauratori, curatori, arhivari, istorici de artă, arheologi, oameni de știință din domeniul conservării) care activează în diverse domenii ale patrimoniului cultural (muzee, biblioteci, arhive, instituții arheologice, clădiri istorice, ateliere de conservare), de asemenea, comunității specialiștilor în radiații ionizante (oameni de știință, ingineri și tehnicieni care lucrează în diverse discipline, cum ar fi tehnologia radiațiilor și biologia radiațiilor).

AIEA dorește să mulțumească tuturor consultanților și contribuitorilor pentru timpul lor prețios și pentru contribuția la această carte, în special domnului C.C. Ponta (România) și domnului J.B.G.A. Havermans (Olanda). Contribuția la această carte a dlui Havermans, care nu mai este printre noi, a fost de mare importanță, iar AIEA își exprimă aprecierea față de el. AIEA dorește, de asemenea, să mulțumească celorlalți contribuitori care au acceptat să-și împărtășească experiențele concrete prin redactarea unor capitole individuale, făcând această carte mai cuprinzătoare. Există speranța că publicația va conduce la o aplicare mai largă a tehnologiilor cu radiații pentru conservarea materialelor de patrimoniu.

Ofițerul AIEA responsabil pentru această publicație a fost Sunil Sabharwal din Divizia de Științe Fizice și Chimice.

NOTĂ EDITORIALĂ
la ediția în limba engleză

Deși s-a depus o strădanie susținută pentru a menține acuratețea informației conținută în această publicație, nici AIEA și nici statele sale membre nu își asumă nici o responsabilitate pentru consecințe care ar putea să apară din utilizarea sa. Această publicație nu implică chestiuni de responsabilitate, juridică sau de altă natură, pentru acte sau omisiuni din partea nici unei persoane.

Orientările furnizate aici, care descriu bunele practici, reprezintă punctul de vedere al experților, dar nu constituie recomandări făcute pe baza unui consens al statelor membre.

Utilizarea anumitor denumiri de țări sau teritorii nu implică nici o judecată a editorului, AIEA, cu privire la statutul juridic al acestor țări sau teritorii, a autorităților și instituțiilor lor sau a delimitării lor.

Menționarea denumirilor anumitor companii sau produse (indiferent dacă sunt sau nu indicate ca fiind înregistrate) nu implică intenția de a încălca drepturile de proprietate și nici nu trebuie interpretată ca o aprobare sau recomandare din partea AIEA.

AIEA nu are nici o responsabilitate pentru persistența sau acuratețea adreselor URL a site-urile de internet externe sau de terță parte la care se face referire în această carte și nu garantează că orice concurs ce ar putea fi menționat în astfel de site-uri web este sau va rămâne descris exact sau adecvat.

CUVÂNT ÎNAINTE

la ediția în limba română

Rândurile de mai jos, care nu se găsesc în versiunea originală a AIEA, sunt justificate de dorința de a explica nevoia unei traduceri în limba română. Tot odată este oportun să insistăm asupra importanței tratamentelor de conservare prin iradiere pentru România, precizând că acestea sunt apelabile de către orice posesor de artefacte de patrimoniu, oricând și nemijlocit, prin grija Ministerului Cercetării care a decis că echipamentul necesar este unul de interes național și prin constanta dedicație a Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizică și Inginerie Nucleară Horia Hulubei.

Dezinfecția prin iradiere a artefactelor de patrimoniu este foarte atractivă, întrucât este rapidă, sigură, ușor de controlat, acționează în toată masa artefactului, se pretează la tratament simultan al unor volume mari de obiecte de natură diferită, utilizează tehnologie matură și fiabilă – echipamente și proceduri folosite în procese industriale, nu lasă în obiectul tratat nici un reziduu chimic sau radioactiv, este ieftină. Efectul biocid al radiațiilor a fost bine studiat în cadrul unor aplicații de mare anvergură cum ar fi sterilizarea dispozitivelor medicale. Atuurile menționate au fost desigur remarcate, dar factori conjuncturali, obiectivi sau subiectivi, au făcut ca vreme îndelungată această tehnologie să fie privită cu reticență de conservatori și restauratori, fiind folosită cu mult sub nivelul pe care-l merită. Desigur o tehnologie nucleară este una high-tech, adică nu tocmai ușor de înțeles. Pe de altă parte, pe drept sau pe nedrept, atributul *nuclear* indică pentru mulți mai curând ceva ce trebuie evitat. Cum responsabilitățile artefactelor culturale sunt aproape pretutindeni oameni cu pregătire umanistă, reticențele și inhibițiile acestora au condus la cazuistică puțin numeroasă. Cercetările privind modificările structurii și proprietăților artefactelor în urma iradierii, nu abundă. Adăugăm că subiectul cercetării este unul ingrat, plasându-se la limita canoanelor cercetării științifice. Este aproape imposibil să obții rezultate științifice de calitate cu materiale care nu sunt și nu pot fi nici identice, nici perfect caracterizate și nici reproductibile. Cele de mai sus și încă alte aspecte pe care nu le mai amintim, au produs un cerc vicios: conservarea prin iradiere se folosește cu precauții

excesive pentru că nu este bine cunoscută și nu este cunoscută îndeajuns, întrucât se folosește prea rar.

Cartea de față încearcă să rupă acest cerc vicios și propune o viziune unitară și critică asupra întregului domeniu, dar mai ales un limbaj pe care să-l înțeleagă toți actorii implicați în acest domeniu multidisciplinar, atât cei cu profil umanist cât și fizicienii, chimiștii, microbiologii, inginerii. Evoluțiile din ultimul deceniu indicau că este momentul potrivit să apară o lucrare de sinteză care să normeze bazele științifice și metodologice ale iradierii patrimoniului cultural, să stabilească condițiile în care intervenția se desfășoară în siguranță, să selecteze un vocabular specific minimal și să treacă în revistă aplicațiile notabile ale tratamentului. Limbajul utilizat este asociat unei mize importante. Cartea prezintă aspecte științifice din domeniile înguste ale fizicii nucleare, chimiei radiațiilor și radiobiologiei, precum și considerente legate de iradierea tehnologică – un domeniu al tehnicii avansate. Autorii au profesii legate de iradierea tehnologică – ingineri, fizicieni, chimiști, dar lucrează de timp îndelungat cu muzeele, arhivele și alte instituții deținătoare de artefacte culturale. Ei au învățat astfel că aspectele tehnico-științifice implicate în tratamentele cu radiații, trebuie înțelese corect de către cei ce beneficiază direct de aplicațiile iradierii. Drept consecință ei s-au străduit să selecteze și să prezinte conceptele de bază și noțiunile operaționale într-o manieră cât mai accesibilă tuturor.

Prezentarea coerentă a informației este principala provocare a oricărei cărți cu număr mare de autori. În confruntarea cu această problemă, strategia utilizată s-a bazat pe alegerea și structurarea conținutului. Un număr restrâns de autori, un nucleu menționat la sfârșitul cărții, a stabilit conținutul și a alcătuit capitolele ce descriu aspectele esențiale ale aplicării iradierii pentru conservarea artefactelor de patrimoniu cultural. Astfel, în capitolele 1 – 9 s-au putut evita redundanțele într-o mare măsură. Ediția românească a operat și mai mult în această direcție, în măsura permisă de obligațiile de traducere. Acest filtru nu a putut fi aplicat la capitolele 10 – 26 care descriu aplicații concrete primite de la autori din diferite țări. O parte dintre aceștia sunt muzeografi, curatori sau responsabili culturali. Intervențiile lor arată răspândirea tehnologiei cu radiații în conservarea patrimoniului cultural și acceptanța de care se bucură în țările lor.

Este o mare satisfacție pentru întreaga echipă IRASM – IFIN-HH să constate că România este printre puținele țări din lume în care conservarea prin iradiere este utilizată în cunoștință de cauză și cu responsabilitate,

dar fără reținerile pe care le-am punctat mai sus. De aceea, organizarea domeniului în România și experimentele din țara noastră sunt prezente în mod consistent în această carte. Posibilitatea ca restauratorii, conservatorii, muzeografi, arhivarii și alți responsabili culturali ce lucrează în muzeele, arhivele, bisericile și mănăstirile țării să poată vedea cât de bine se poziționează în acest domeniu față de nivelul de înțelegere și utilizare mondial, a fost una din motivațiile puternice ale acestei traduceri.

„Traducătorul este un trădător” spune o butadă. Consecințele unei traduceri eronate pot fi devastatoare în plan practic. Conștiința că prima carte într-un domeniu este de obicei o referință pentru cele ce vor urma, am considerat o datorie să ne asigurăm de corectitudinea prezentării în limba română a conceptelor științifice, a fenomenelor fizice și a vocabularul tehnic utilizat. Asumarea acestei datorii a fost o a doua motivație pentru a efectua traducerea.

În conformitate cu cutumele editorului variantei princeps – Agenția Internațională pentru Energie Atomică, traducerea autorizată este pro bono, iar cartea se distribuie gratuit. Inițiatorul traducerii – Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizică și Inginerie Nucleară Horia Hulubei (IFIN-HH), are astfel ocazia să ofere cartea tuturor instituțiilor ce îngrijesc artefacte culturale și în care se vorbește limba română. Pentru IFIN-HH și pentru departamentul sau – Centrul de Iradiere Tehnologice IRASM, producerea și distribuirea acestei traduceri este o satisfacție, o datorie de onoare și o probă a slujirii interesului național.

În traducerea actuală s-au omis unele informații nerelevante pentru români, cum ar fi numele populare ale unor insecte care atacă artefactele.

Conservarea prin iradiere a artefactelor de patrimoniu cultural se poate aplica doar prin utilizarea unor anume tipuri de iradiatoare. Cartea prezintă exemple de tratamente efectuate în Brazilia, Croația, Franța, Olanda, Polonia, Portugalia, România și Tunisia. Sunt amintite experimente și cercetări efectuate în Cehia, Italia și SUA. Este foarte probabil că dezinfecția prin iradiere să se fi aplicat și în alte țări ale lumii acolo unde există iradiatoare potrivite. Speranța celor care au contribuit la această carte este aceea că apariția sa va impulsiona cercetările și utilizarea conservării prin iradiere și va scoate totodată la iveala experiențele altor țări, astfel încât o ediție viitoare să fie și mai cuprinzătoare.

Corneliu Ponta

CUPRINS

Capitolul 1. INTRODUCERE	1
<i>J.B.G.A. Havermans</i>	
1.1. Context	1
1.2. Obiectiv	6
1.3. Scop	7
1.4. Structura	8
Bibliografie la capitolul 1	8
Capitolul 2. BIODETERIORAREA PATRIMONIULUI CULTURAL TANGIBIL	11
<i>C.C. Ponta, J.B.G.A. Havermans</i>	
2.1. Introducere	11
2.2. Constituenții chimici ai artefactelor și degradarea lor	12
2.2.1. Degradarea artefactelor anorganice – transformarea telurică	12
2.2.2. Degradarea artefactelor organice – ciclul biologic	13
2.3. Fenomenul de biodegradare	15
2.4. Agenți de biodegradare relevanți	17
2.4.1. Microorganisme	17
2.4.2. Insecte	19
2.5. Biodegradarea diferitelor materiale organice	20
2.5.1. Lemn	20
2.5.2. Hârtie	24
2.5.3. Piele, pergament	27
2.5.4. Textile	31
2.5.5. Altele	33
Bibliografie la capitolul 2	34

Capitolul 3. DIRECȚII ȘI ORIENTĂRI ÎN DEZINFECȚIE 35
C.C. Ponta, J.B.G.A. Havermans

3.1. Introducere	35
3.2. Tehnici de dezinfecție convenționale	35
3.2.1. Tratamente cu gaze biocide	35
3.2.2. Tratamente termice	36
3.2.3. Tratamente cu lichide biocide	37
3.2.4. Anoxia	38
3.2.5. Curațare uscată/periere	38
3.3. Tehnici de dezinfecție prin iradiere	39
3.3.1. Sterilizare prin iradiere	39
3.3.2. Dezinfecția prin iradiere a artefactelor culturale	40
3.4. Avantajele tehnicilor ce utilizează radiații	40
Bibliografie la capitolul 3	43

Capitolul 4. DIRECȚII ȘI ORIENTĂRI ÎN CONSOLIDAREA
MATERIALELOR POROASE 45
Q.K. Tran, J.L. Boutaine

4.1 Introducere	45
Bibliografie la capitolul 4	47

Capitolul 5. ASPECTE FUNDAMENTALE ALE IRADIERII
TEHNOLOGICE 49
P. Vasquez

5.1. Introducere	49
5.2. Doza absorbită și debitul dozei absorbite	50
5.3. Dozimetrie	51
5.4. Dozimetria de rutină în producție	53
Bibliografie la capitolul 5	55

Capitolul 6. SURSE ȘI INSTALAȚII PENTRU IRADIERI
TEHNOLOGICE 59
P. Vasquez

6.1. Introducere	59
6.2. Instalații pentru iradiere tehnologică cu surse gamma	60
6.3. Instalații pentru iradiere tehnologică cu acceleratori	62
6.4. Instalații pentru iradiere tehnologică cu raze X	65
Bibliografie la capitolul 6	67

Capitolul 7. EFECTELE RADIAȚIILOR IONIZANTE ASUPRA
MATERIALELOR 69
C.C. Ponta, J.B.G.A. Havermans, Q.K. Tran, L. Cortella

7.1. Introducere	69
7.1.1. Efectul biocid și modificarea ADN	69
7.2. Radiosensibilitatea organismelor vii	71
7.3. Prefață la efectele colaterale	74
7.3.1. ADN-ul prezent în artefacte	77
7.3.2. Datarea cu ^{14}C și altele	77
7.4. Efectele colaterale ale radiațiilor ionizante	78
7.4.1. Materiale celulozice și lignocelulozice, inclusiv textile	78
7.4.2. Obiecte conținând pigmenți și coloranți	86
7.4.3. Lacuri și lianți	87
7.4.4. Sticle și gume	88
7.4.5. Piele, blană și pergament	90
7.4.6. Mumii și animale împăiate	91
7.4.7. Materiale organice arheologice îmbibate cu apă	92
7.4.8. Materiale fotografice	93
7.4.9. Artă contemporană	95
Bibliografie la capitolul 7	97

Capitolul 8. DEZINFECȚIA PRIN IRADIERE A ARTEFACTELOR
CULTURALE 105
C.C. Ponta, J.B.G.A. Havermans, J.L. Boutaine

8.1. Introducere	105
8.2. Dozele de tratament recomandate	107
8.2.1. Insecte	107
8.2.2. Mușegaiuri și tratament general	108
8.3. Precizări privind stabilirea dozei de tratament	109
8.4. Alte precauții și considerații	110
8.5. Comentarii în cazul unor materiale particulare	111
8.6. Aria de aplicare a dezinfecției prin iradiere	113
8.7. Siguranța și protecția la iradiere	115
Bibliografie la capitolul 8	116

Capitolul 9. CONSOLIDAREA MATERIALELOR ORGANICE
PRIN TEHNOLOGII DE IRADIERE 117
Q.K. Tran, J.L. Boutaine

9.1. Introducere	117
9.2. Hârtie și textile	117
9.3. Consolidarea artefactelor din lemn prin radiopolimerizare	118
9.3.1. Monomeri și rășini	118
9.4. Polimerizarea prin iradiere gamma	119
9.5. Domenii de aplicare a consolidării prin iradiere	122
Bibliografie la capitolul 9	124

Capitolul 10. ERADICAREA MUȘEGAIULUI LA BIBLIOTECA
« PALATUL PĂCII » PRIN IRADIERE GAMMA.... 125
J. Vervliet

10.1. Introducere	125
10.2. Dezinfecția prin iradiere gamma	125

Capitolul 11. DEZINFECȚIA MUMIEI LUI RAMSES II (FRANȚA, 1977)	129
<i>L. Cortella</i>	
11.1. Introducere	129
11.2. De la istorie la tratament	129
Bibliografie la capitolul 11	132
Capitolul 12. EFECTUL TRATAMENTULUI DE DEZINFECȚIE GAMMA CU 8 ± 2 kGy ASUPRA HÂRTIEI MUCEGĂITE, ÎN OLANDA	133
<i>J.B.G.A. Havermans</i>	
12.1. Introducere	133
12.2. Simularea dezastrului	134
12.3. Evaluarea	135
12.4. Calitatea materialelor returnate după tratament și conservare	135
12.5. Analiza survenir - partea 1, evaluarea materialelor	136
12.6. Analiza survenir - partea 2, abordarea chemometrică	138
12.7. Concluzii	141
Mulțumiri la Capitolul 12	141
Bibliografie la capitolul 12	141
Capitolul 13. INTERVENȚIA DE URGENȚĂ LA ARHIVA NAȚIONALĂ DE FILM	143
<i>C.C. Ponta</i>	
13.1. Introducere	143
13.2. Experimente	145
13.3. Rezultate și discuții	146
13.4. Concluzii	147
Mulțumiri la Capitolul 13	147
Bibliografie la capitolul 13	148

Capitolul 14. KHROMA, PUIUL DE MAMUT ÎNGHEȚAT	149
<i>L. Cortella</i>	
14.1. Introducere	149
14.2. Discuții	149
Capitolul 15. INTERVENȚIA DE URGENȚĂ LA O BISERICĂ PAROHIALĂ ÎN ROMÂNIA	153
<i>C.C. Ponta</i>	
15.1. Introducere	153
15.2. Urgență la biserica parohială din comuna izvoarele	153
15.3. Dozimetrie	154
15.4. Concluzii	157
Mulțumiri la Capitolul 15	160
Bibliografie la capitolul 15	160
Capitolul 16. CONSOLIDAREA UNEI SCULPTURI DE SECOL XVIII DIN LEMN POLICROM	161
<i>Q.K. Tran</i>	
16.1. Introducere	161
16.2. Impregnarea și polimerizarea prin iradiere a rășinii	163
16.3. Restaurarea sculpturii după consolidare	164
16.4. Concluzii	164
Capitolul 17. CONSOLIDAREA PARCHETULUI	167
<i>Q.K. Tran</i>	
17.1. Tratamentul unui parchet de secol XVIII, din Grenoble, Franța	167
17.2. Tratarea parchetului de secol XIX, la primăria din Viviers, Franța	168

Capitolul 18. CONSERVAREA UNOR COLECȚII MARI DE ARTEFACTE	171
<i>J. Perkowski, W. Głuszewski</i>	
18.1. Introducere	171
18.2. Încălțăminteza prizonierilor din colecția Muzeului de Stat din Majdanek	172
18.3. Dezinfecția prin iradiere a 60 000 încălțări	173
18.4. Metoda de control a dozei de iradiere	174
Bibliografie la capitolul 18	175
Capitolul 19. IRADIEREA GAMMA PENTRU DECONTAMINAREA MICROBIANĂ A PATRIMONIULUI CULTURAL: STUDII DE CAZ CU PERGAMENT ȘI PLĂCI CERAMICE	177
<i>S. Cabo Verde, I. Nunes, T. Silva, M.I. Dias, M.I. Prudêncio, M.L. Botelho</i>	
19.1. Introducere	177
19.2. Pergament – studiu de caz	178
19.3. Plăci ceramice glazurate - studiu de caz	182
19.4. Concluzie	185
Mulțumiri la Capitolul 19	185
Bibliografie la capitolul 19	185
Capitolul 20. DEZINFECȚIA OBIECTELOR DE PATRIMONIULUI CULTURAL FOLOSIND ACCELERATORI DE ELECTRONI (EB)	187
<i>W. Głuszewski</i>	
20.1. Introducere	187
20.2. Natura radiației din fascicolul de electroni	187
20.3. Compatibilitatea materialelor cu tratamentul EB	188
20.4. Controlul livrării dozei de iradiere	188
20.5. Aplicații comerciale ale EB în centre de cercetare-dezvoltare și servicii	190

20.6. Exemplu de angajare a unui accelerator pentru dezinfecția obiectelor cu semnificație istorică	190
Bibliografia la capitolul 20	191

Capitolul 21. STADIUL ACTUAL AL APLICĂRII IRADIERII TEHNOLOGICE A PATRIMONIULUI CULTURAL ÎN ROMÂNIA	193
<i>C.C. Ponta</i>	

21.1. Introducere	193
21.2. Proiecte de cercetare	195
21.3. Tratamente de decontaminare	198
21.4. Decontaminarea unor sculpturi moderne în lemn	198
21.5. Decontaminarea artefactelor simultană cu restaurarea spațiului expozițional	200
21.6. Decontaminarea arhivei naționale de film	200
21.7. Decontaminare preventivă a unor panouri pentru picturi pe lemn	201
21.8. Cooperare internațională	202
21.8.1. Cooperare cu Agenția Internațională pentru Energie Atomică (AIEA)	202
21.8.2. Cooperare cu Arc-Nucléart, Franța	202
21.9. Publicații selectate	203
Mulțumiri la Capitolul 21	204

Capitolul 22. CONSERVAREA ÎN MASĂ, PRIN IRADIERE, A OBIECTELOR CULTURALE DISTRUSE DE RĂZBOI ÎN CROAȚIA	205
<i>B. Katušin-Ražem, M. Braun, D. Ražem</i>	

22.1. Introducere	205
22.2. Exemple de acțiuni de conservare prin iradiere a unor obiecte afectate de război	206
22.2.1. Exemplul 1: Biserica Sfânta Maria a Zăpezilor din Kamensko lângă Karlovac (sec. 15)	206

22.2.2. Exemplul 2: Sculptură policromă din Biserica Ridicarea la Ceruri a Sfintei Marii (distrusă), Gora lângă Petrinja (sec. 12 sau 13)	207
22.2.3. Exemplul 3: Poliptic Fecioara Maria din Biserica Sfântul Francisc, Pola (sec. 15)	208
Bibliografie la capitolul 22	209

Capitolul 23. STADIUL ACTUAL AL APLICĂRII IRADIERII
TEHNOLOGICE A PATRIMONIULUI CULTURAL
ÎN BRAZILIA

P. Vasquez

23.1. Introducere	213
23.2. Arhiva publică a Statului São Paulo: inundația de la São Luiz de Paraitinga	213
23.3. Controlul insectelor și a fungilor la o colecție privată de incunabule	214
23.4. Arhivele Secretariatului pentru Educație a Statului São Paulo: hârtie contaminată cu apă de canalizare	215
23.5. Iradierea gamma a unei picturi din secol XVII restaurate	217
Bibliografie la capitolul 23	217

Capitolul 24. STADIUL ACTUAL AL APLICĂRII IRADIERII
TEHNOLOGICE A PATRIMONIULUI
CULTURAL ÎN TUNISIA

M. Kraïem

24.1. Introducere	219
24.2. Instanția pilot de iradiere gamma a CNSTN	219
24.3. Procesul de iradiere	220
24.4. Artefacte de patrimoniu cultural tratate la CNSTN	221
24.4.1. Fotolii din metal acoperite cu piele și textile	221
24.4.2. Tapițerii, haine oficiale ale beifului, instrument muzical de lemn	221
24.4.3. Piese de taxidermie	221

Capitolul 25. STADIUL ACTUAL AL APLICĂRII IRADIERII TEHNOLOGICE A PATRIMONIULUI CULTURAL ÎN CROAȚIA.....	223
<i>B. Katušin-Ražem, M. Braun, D. Ražem, B. Mihaljević, I. Pucić</i>	
25.1. Introducere	223
25.2. Instalația de iradiere de la Institutul Ruđer Bošković	224
25.3. Acceptanța tratamentului prin iradiere	226
25.4. Educație și diseminarea cunoștințelor	227
25.5. Vizibilitatea tratamentului prin iradiere în publicații	228
25.6. Cooperare națională și internațională	230
25.7. Cercetări legate de iradierea patrimoniului cultural	231
25.8. Exemplu de eradicare a insectelor la scară mare: Colecția Kožarić a Muzeului de Artă Contemporană	232
Mulțumiri la Capitolul 25	233
Bibliografie la capitolul 25	233

Capitolul 26. STADIUL ACTUAL AL APLICĂRII IRADIERII TEHNOLOGICE A PATRIMONIULUI CULTURAL ÎN FRANȚA.....	237
<i>Q.K. Tran, L. Cortella</i>	
26.1. Introducere	237
26.2. Procesul de conservare	240
26.2.1. Iradierea gamma pentru dezinfecție și pentru consolidarea artefactelor de patrimoniu cultural ...	240
26.2.2. Conservarea artefactelor arheologice îmbibate cu apă	241
26.2.3. Lucrări de restaurare	242
26.3. Proiecte de cercetare și cooperare	242
26.4. Câteva publicații	244

ANEXA I: STANDARDE APLICABILE	245
ANEXA II: PAGINI WEB DE INTERES	246
ACRONIME ȘI ABREVIERI	247
GLOSAR	248
BIBLIOGRAFIE SUPLIMENTARĂ	254
CONTRIBUȚII LA REDACTARE ȘI REVIZIE	255

Capitolul 1

INTRODUCERE

J.B.G.A. HAVERMANS

TNO Environmental Modelling, Sensing and Analysis,
Breggen op Zoom, Netherlands

O carte veche fără pereche sau o epavă, o statuie sau o clădire istorică, o frunză dintr-un ierbar sau o întreagă arhivă, un instrument muzical sau o piesă de mobilier, un tablou, o bucată de parchet sau un obiect arheologic – cât sunt ele de diferite, toate pot fi păstrate pentru cei ce vor veni după noi dacă folosim tehnologii adecvate.

1.1. CONTEXT

Conservarea moștenirii culturale este o datorie etică pentru toate țările. Factorii decizionali abia au început să înțeleagă că păstrarea patrimoniului cultural, cu deosebire a muzeelor, bibliotecilor și arhivelor, este o valoroasă investiție pe termen lung cu efecte culturale dar și în economia națională. Accesul la patrimoniul cultural și condițiile în care acesta este prezentat publicului, depinde de acțiunile de conservare pe termen lung, de orice posibilă restaurare și de măsurile de conservare preventivă. Materialele sensibile expuse într-un mediu agresiv pot suferi modificări chimice (datorate poluanților, a umidității relative nepotrivite, excesului de lumină etc) conducând la deteriorări ireversibile în câteva săptămâni (Fig. 1.1).

În cadrul Programelor-cadru de Cercetare ale Uniunii Europene ce s-au succedat în ultimii 30 de ani, peste 150 de proiecte au fost dedicate conservării patrimoniului cultural. Rezultatele acestor programe de cercetare precum și instrumentele de lucru în cadrul echipelor – schimbul de cunoștințe pentru îmbunătățirea cooperării, pot fi găsite pe site-urile web ale instituțiilor care au realizat aceste proiecte:



FIG 1.1. Exemplu de deteriorare a unui material sensibil menținut în mediu agresiv.

- Cooperarea Europeană în domeniul Științei și Tehnologiei COST, care este unul dintre cele mai vechi mecanisme de sprijin a cooperării dintre oamenii de știință și cercetătorii din Europa [1.1];
- Comitetul European de Standardizare CEN, unde a fost înființat comitetul tehnic TC 346, dedicat conservării patrimoniului cultural [1.2];
- AIEA, care a înființat un grup internațional de lucru pentru dezinfectarea și consolidarea materialelor de arhivă și a artefactelor de patrimoniu cultural prin tehnici de iradiere tehnologică și a implementat numeroase proiecte de cooperare tehnică în domeniu, inclusiv un proiect privind Utilizarea Tehnicilor Nucleare pentru Caracterizarea și Conservarea Artefactelor de Patrimoniu Cultural din Europa [1.3].

Rețelele internaționale amplifică impactul cercetării și facilitează elaborarea de recomandări care orientează cercetările viitoare pentru a răspunde nevoilor de cunoaștere, atât în ceea ce privește patrimoniul cultural mobil cât și cel imobil. Cooperarea interdisciplinară consolidează cunoașterea și practica restaurării și conservării patrimoniului. Există

un larg acord tacit, care indică că mai presus de diseminarea obișnuită a progreselor științifice obținute în cadrul programelor naționale și internaționale de cercetare, prezentarea rezultatelor trebuie făcută acolo unde acestea au cel mai mare impact: la comunitatea curatorilor și a conservatorilor/restauratorilor, căci aceștia utilizează în conservare și restaurare, în cele din urmă, instrumentele perfecționate și răspunsurile obținute de către cercetători. Pe lângă crearea de rețele (care aduce schimb de cunoștințe, cooperare și definirea lacunelor în cercetare – ceea ce limitează acceptarea aplicațiilor iradierii tehnologice), există necesitatea continuă de a stabili proceduri și standarde de bună practică în domeniul protecției artefactelor culturale.

Degradarea patrimoniului organic și în special a celui bazat pe celuloză, este cauzată de factori endogeni și exogeni [1.4]. Factorii endogeni sunt, de exemplu, acidifierea rezultată din utilizarea anumitor materii prime în procesul de fabricare a hârtiei. Printre factorii exogeni se numără, de exemplu, temperatura, umiditatea și poluanții atmosferici. Excesul de umiditate a materialului poate iniția dezvoltarea mucegaiului în substrat. Valoarea de prag a conținutului de apă din substrat, la depășirea căruia începe să se dezvolte mucegaiul, nu este agreată univoc și prin urmare, în literatură pot fi găsite niveluri diferite de prag de umiditate relativă: 50-60%; 65-70%; 70 și chiar 75% [1.5]. Mucegaiurile sunt microorganisme care fac parte din regnul fungilor, care diferă de regnul plantelor prin absența clorofilei și prin lipsa capacității de a valorifica energetic lumina soarelui. Ele nu sunt capabile să sintetizeze substanțe organice din cele anorganice și ca urmare, substratul pe care se dezvoltă constituie principala sursă de creștere. Majoritatea familiilor de mucegaiuri sunt saprofite (adică sunt capabile să degradeze materia moartă, vegetală sau animală). Culoarea mucegaiului se bazează pe substratul pe care crește. Dacă nivelul de umiditate din mediul înconjurător scade, speciile de mucegai sunt capabile să treacă într-o stare de rezistență (spori) în care sunt inactive și așa pot supraviețui [1,6].

Mucegaiurile nu afectează numai bibliotecile și materialele de arhivă, ci afectează și sănătatea oamenilor prin infecții (micoze). Unele familii sunt extrem de otrăvitoare și chiar carcinogene [1,7]. *Aspergillus flavus* este un astfel de mucegai. În 1990, o specie de mucegai mortală a fost găsită în depozitele noului Muzeu de Artă Contemporană din New York [1.8]. După inactivare, mucegaiul poate fi în continuare periculos

din cauza reziduurilor metabolice rămase în substrat. Prin urmare, aspectele legate de sănătatea celor ce lucrează cu materiale papetare rămân complexe, așa cum s-a demonstrat în timpul activităților de conservare a bibliotecii Palatului Păcii de la Haga [1.9].

În acțiunea sa de degradare, mucegaiul produce schimbări ireversibile în celuloza substratului. Zonele nutritive din materialele celulozice sunt pentru mucegai în principal regiunile cu celuloză amorfă, care conțin de asemenea și alte polizaharide cum ar fi hemiceluloza. Umiditatea excesivă umflă fibrele celulozice, acestea devenind mai accesibile pentru mucegai [1.10]. Celuloza este distrusă de enzimele produse de mucegai. Acesta poate produce și radicali liberi, care în prezența metalelor de tranziție, vor forma hidroperoxizi [1.11]. Se știe că acești hidroperoxi stimulează reacțiile de degradare, cum ar fi reacția Fenton [1.12]. Reacțiile de degradare sunt prezentate în FIG. 1.2. Lumina le poate stimula. Din această descriere a faptelor, rezultă ca necesare două acțiuni. Mai întâi, mucegaiul trebuie inactivat, iar apoi materialul trebuie să primească un tratament preventiv pentru a opri deteriorarea chimică cauzată de produsele de metabolism rămase – îndepărtarea rezidului mucegaiului iradiat.

Putem trage de pe acum o concluzie: *este o decizie greșită să nu faci nimic*, căci mucegaiul activ va deteriora grav artefactele moștenite.

Pentru conservarea artefactelor patrimoniului cultural pot fi întreprinse o varietate de măsuri curative și preventive. Acțiunile curative includ tratamente de dezinfecție prin fumigație cu substanțe precum formaldehidă, etanol sau oxid de etilenă. Aceste substanțe sunt însă absorbite de artefacte în timpul tratamentului și apoi sunt emise de la sine, timp îndelungat, contaminând aerul ambiental, cu consecințe serioase asupra sănătății umane. În cazul oxidului de etilenă, cunoscut ca fiind cancerigen, Administrația pentru Sănătate și Securitate Ocupațională din SUA (OSHA) a produs în 1984 un standard care reglementează nivelul permis de expunere profesională la maxim 1 ppm (*părți per milion*) [1.13].

Măsurile preventive includ condiții de depozitare sănătoase și un mediu curat. Desigur, atunci când mucegaiul nu este activ și condițiile de depozitare sunt bune, nu este necesară nici o acțiune curativă directă. Dar așa cum s-a menționat mai sus, mucegaiul poate deveni activ imediat ce condițiile de depozitare se schimbă (crește umiditatea relativă, de exemplu).

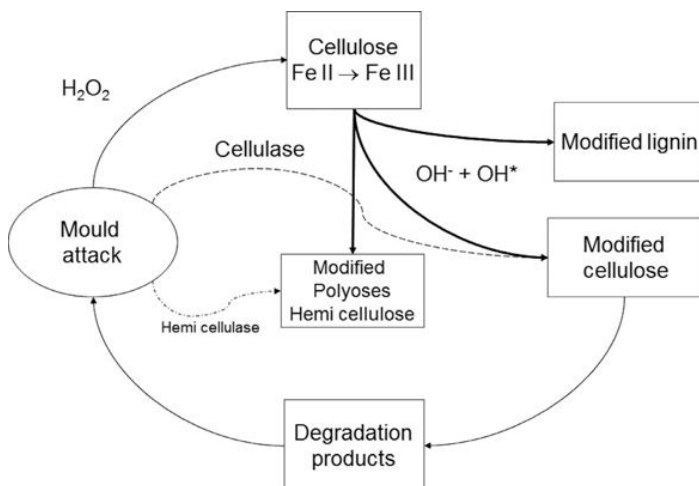


FIG. 1.2. Modelul ipotetic de deteriorare a hârtiei de către mucegaiuri, după Ritschkoff and Mahlberg [1.11].

Utilizarea radiațiilor ionizante pentru sterilizarea dispozitivelor medicale, a produselor farmaceutice, a alimentelor și a altor materiale este o practică bine cunoscută. Tratamentul acestor produse se efectuează la nivel industrial de mulți ani. Radiațiile folosite pot fi fotonii gamma (livrați de surse închise care conțin ^{60}Co), raze X (produse de generatoare de raze X sau de acceleratori) sau fascicule de electroni (produse de acceleratori). Aceste radiații nu induc radioactivitate în obiectele tratate. Se poate adăoga că radiografierea cu raze X sau raze gamma, pentru investigarea nedistructivă a picturilor, statuilor, obiectelor arheologice, instrumentelor muzicale etc, este deasemenea o practică veche și bine acceptată de comunitatea conservatorilor/restauratorilor. Aplicarea radiațiilor ionizante pentru dezinfectia artefactelor ar părea, așadar, că nu pune probleme. E bine totuși să luăm în considerare că radiația ionizantă este capabilă să deterioreze materialele organice, scurtându-le teoretic durata de viață. Trebuie așadar utilizate acele condiții de tratament care realizează dezinfectia fără a produce modificări inacceptabile în artefacte. Alimentele sunt consumate rapid și echipamentul chirurgical este folosit o singură dată. Dimpotrivă, materialele de patrimoniu este de dorit să supraviețuiască timp de secole; prin urmare, condițiile de iradiere utilizate pentru alimente sau dispozitive medicale nu pot fi pur și simplu copiate și utilizate la materiale de patrimoniu [1.14].

Pe lângă dezinsecția artefactelor, radiațiile ionizante pot fi aplicate pentru consolidarea materialelor cu structura șubredă, cum ar fi părți dintr-o epavă. Se introduce un monomer lichid în structura șubrezită, poroasă și prin polimerizare radioindusă se formează in-situ un polimer solid care consolidează artefactul.

Cercetările au arătat că, în funcție de materialul de constituție și de doza utilizată, obiectele pot reacționa diferit la iradiere. Astfel, iradierea la o doză mare nu numai că ucide mușegaiuri și insecte, dar, de asemenea, poate deteriora semnificativ substratul. Aceasta conduce, în mod firesc, la întrebarea dacă este necesară o doză mare. Răspunsul este negativ, așa cum a demonstrat, de exemplu, Sinco, în 2000. Cercetările sale au arătat că prin tratare cu o doză de iradiere mică, cărțile dezinfectate erau după 10 ani în stare bună, consultabile [1.15]. Deși întregul tablou al tratamentului de decontaminare prin iradiere rămâne complex, au fost raportate multe exemple de aplicare a radiațiilor ionizante atât pentru dezinsecție cât și pentru dezinsecție [1.6, 1.7, 1.14, 1.16-20].

1.2. OBIECTIV

Aplicarea radiațiilor ionizante pentru dezinfectarea artefactelor patrimoniuului cultural a fost demonstrată cu succes în ultimii ani, cu participarea muzeelor și a bibliotecilor. Utilizarea mai largă a acestei tehnici necesită probarea concludentă a faptului că iradierea nu duce la modificări inacceptabile ale proprietăților funcționale și decorative ale artefactelor, iar autenticitatea lor nu este compromisă. Tehnologia trebuie, prin urmare, să fie aplicată de către profesioniști în instalații de iradiere adecvate, obținând astfel siguranța și longevitatea artefactelor tratate. În ultimul deceniu, multe proiecte naționale de cercetare au fost dedicate aplicării radiațiilor ionizante pentru dezinsecție. Pentru acceptanța utilizării tehnologiei radiațiilor în conservarea patrimoniului cultural, este importantă diseminarea rezultatelor cercetării către părțile interesate – tehnologii ce lucrează în instalațiile de iradiere și profesioniștii din domeniul patrimoniului cultural. Această publicație AIEA a fost inițiată în urma a două întâlniri la sediul AIEA din Viena, a unor specialiști cu experiență în domeniu. Prima întâlnire a urmărit pregătirea unor instrucțiuni în vederea utilizării tehnologiilor cu radiații pentru conservarea artefactelor și obiectelor culturale (28 octombrie – 1 noiembrie 2013), iar a doua, a

urmărit dezinfectarea și consolidarea materialelor de arhivă și a obiectelor de patrimoniu cultural prin tehnici de iradiere tehnologice (6 – 10 octombrie 2014).

Obiectivul acestei cărți este de a oferi profesioniștilor care lucrează în instalații de iradiere, radiochimistilor polimeriști și radiomicrobiologilor ce intenționează să abordeze conservarea patrimoniului cultural, informații esențiale care să le permită să interacționeze cu conservatorii și restauratorii, în scopul utilizării tehnicilor de iradiere tehnologică pentru conservarea și consolidarea artefactelor culturale.

1.3. SCOP

Deși tehnologia radiațiilor a fost utilizată cu succes în ultimii ani, cu participarea muzeelor și bibliotecilor, pentru conservarea și consolidarea artefactelor patrimoniului cultural, acceptarea sa mai largă va depinde de convingerea științifică a utilizatorilor finali că iradierea nu duce la schimbări inacceptabile și că proprietățile estetice și funcționale, precum și autenticitatea artefactelor, nu este compromisă. Acest lucru necesită ca profesioniștii din cadrul instalațiilor de iradiere să aibă o înțelegere profundă a efectului iradierii asupra materialelor utilizate în mod obișnuit la fabricarea artefactelor culturale, o abordare științifică corectă în activitatea de tratare a artefactelor pentru a le oferi siguranța și longevitatea, și să cunoască studiile anterioare, pentru a putea elabora metodologii de tratament adecvate în orice aplicații noi. Având în minte cele de mai sus, această publicație se concentrează pe furnizarea de informații fundamentale legate de efectele radiațiilor asupra materialelor din care sunt alcătuite în mod obișnuit artefactele culturale, pe efectele iradierii asupra biocontaminanților, pe caracteristicile surselor de radiații ce pot fi folosite pentru tratarea artefactelor culturale, precum și pe unele dintre aplicațiile de succes ale tehnologiei cu radiații pentru conservarea și consolidarea patrimoniului cultural. Cartea oferă informații esențiale necesare pentru a intensifica interacțiunea dintre părțile interesate pentru acceptarea și utilizarea mai largă a tehnicilor de iradiere tehnologica pentru conservarea și consolidarea artefactelor patrimoniului cultural.

1.4. STRUCTURA

Cartea este împărțită în următoarele secțiuni. Capitolele 1-6 introduc aspectele esențiale, fundamentale, tendințele în conservarea patrimoniului cultural folosind diferite tehnici și sursele de radiații care pot fi utilizate pentru tratarea acestor artefacte. Capitolul 7 este dedicat înțelegerii efectelor radiației asupra materialelor utilizate în mod obișnuit pentru alcătuirea artefactelor de patrimoniu cultural. Capitolele 8-9 prezintă detaliile tratamentului de dezinfectie și a celui de consolidare. Capitolele 10-26 prezintă studii de caz concrete privind aplicarea tehnicilor bazate pe tehnologia cu radiații pentru conservarea și consolidarea artefactelor patrimoniului cultural în colaborare cu utilizatorii finali.

BIBLIOGRAFIE LA CAPITOLUL 1

- [1.1] FASINA, V., European Technical Committee 346 - Conservation of Cultural Property - Updating of the Activity After a Three Year Period, Art2008: 9th International Conference on Non-destructive Testing of Art (Pros. Int. Conf. Jerusalem), NDT.net, Bad Breisig (2008).
- [1.2] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, CEN/TC 346 - Conservation of Cultural Heritage, Brussels (2014).
- [1.3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Preserving Europe's cultural heritage for the benefit of future generations, IAEA, Vienna (2012).
- [1.4] HAVERMANS, J.B.G.A., Paper deterioration and the role of air pollutants, Basic Environmental Mechanism Affecting Cultural Heritage (CAMUFFO, D., FASSINA, V., HAVERMANS, J., Eds), Nardini Editori, Firenze (2010) 153-158.
- [1.5] THOMSON, G. The Museum Environment, Butterworth, London (1986).
- [1.6] GREATHOUSE, G.H., WESSEL, C.J., Deterioration of Materials - Causes and Preventive Techniques, Reinhold Publishing, New York (1954).
- [1.7] LIBERT, M., Les moisissures, un ennemi invincible? Decontamination et prévention, Archives et Bibliothèques de Belgique, Brussels (2013).
- [1.8] NYBERG, S., Invasion of the Giant Mold Spore, Solinet Preservation Leaflets, Atlanta, GA (1987) 1-10.
- [1.9] HOPMAN, H., Gammastraling redt beschimmelde boeken, Nederlands Dagblad, Barneveld (2012).
- [1.10] FELLERS, C., IVERSEN, T., LINDSTRÖM, T., NILSSON, T., RIGHDAHL, M., Ageing/Degradation of Paper, A literature Survey, FoU-projectet for Papperkonservering Report 1E, Stockholm (1989).
- [1.11] RITSCHKOFF, A.C., MAHLBERG, R., Fate and biotransformation of biocides. A way to acceptable chemical wood preservation, Proc. COST E22 Working Group 1 Mtg, Reinbek, 2001, COST, Brussels (2001).

- [1.12] NEEVEL, J.G., Phytate: A potential conservation agent for the treatment of ink corrosion caused by iron galls, *Restaurator* **16** (1995) 143-160.
- [1.13] OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION, Occupational Exposure to Ethylene Oxide: Final Standard, *Federal Register* **49** 122 (1984) 25734-25809.
- [1.14] BUTTERFIELD, F.J., The potential long-term effects of gamma irradiation on paper, *Studies in Conservation* **32** (1987) 181-191.
- [1.15] SINCO, P., The use of gamma rays in book conservation, *Nuclear News* **43** 5 (2000) 38-40.
- [1.16] ADAMO, M., et al., Gamma radiation treatment of paper in different environmental conditions, *Restaurator* **22** (2001) 107-131.
- [1.17] ADAMO, M., MAGAUDDA, G., TRIONFETTI NISINI, P., TRONELLI, G., Susceptibility of cellulose to attack by cellulolytic microfungi after gamma irradiation and ageing, *Restaurator* **24** (2003) 145-151.
- [1.18] AHMED, A.U., Effect of the fine structure of cellulose on radiation-induced graft copolymerization, Ph D Thesis, Univ. of Toronto (1967).
- [1.19] HOFENK DE GRAAFF, J.H., ROELOFS, W.G.T., DE GROOT, S., VAN BOMMEL, M., Onderzoek naar de invloed van respectievelijk Ethyleenoxide en Gammastralen op de veroudering van papier. Centraal Laboratorium voor Onderzoek van Voorwerpen van Kunst en Wetenschap (1992).
- [1.20] HORAKOVA, H., MARTINEK., F., Disinfection of archive documents by ionizing radiation, *Restaurator* **6** (1984) 205-216

Capitolul 2

BIODETERIORAREA PATRIMONIULUI CULTURAL TANGIBIL

C.C. PONTA

Centrul de Iradierii Tehnologice IRASM,
Institutul Național de Fizică și Inginerie Nucleară Horia Hulubei,
Măgurele – Ilfov, România
Email: cponta2013@gmail.com

J.B.G.A. HAVERMANS

TNO Environmental Modelling, Sensing and Analysis,
Bregen op Zoom, Netherlands

2.1. INTRODUCERE

Știm desigur că nimic nu dăinuie pe vecie. De aceea conservarea pe durată nelimitată a pieselor de patrimoniu este un vis imposibil. Ideea a generat memorabile cugetări filozofice, cum are fi « panta rhei » (totul curge, totul se schimbă – Heraclit). Această imposibilitate sugerează că prelungirea vieții artefactelor, este un pariu dificil, căci este o luptă împotriva legilor naturii.

Două ramuri științifice studiază fenomenele de transformare chimică din natură – termodinamica și cinetica chimică. Termodinamica studiază tendința modificării, iar cinetica studiază viteza modificării. Dacă tendința de degradare nu poate fi evitată, viteza cu care se petrece fenomenul poate fi influențată în anumite limite. Pentru a înțelege mai bine cum poate fi controlată viteza de degradare a patrimoniului cultural vom aprofunda:

- relația dintre degradare și compoziția artefactelor;
- fenomenul de biodegradare;
- particularitățile agenților de biodegradare și modul lor de acțiune;
- particularitățile biodegradării diferitelor materiale organice.

2.2. CONSTITUENȚII CHIMICI AI ARTEFACTELOR ȘI DEGRADAREA LOR

Strămoșii noștri își puteau alege materia primă pentru artefactele lor, având la dispoziție: *regnum lapideum* (regatul mineral), *regnum animale* (regatul animal) și *regnum vegetabile* (regatul plantelor), ce alcătuiesc, conform lui Linnæus, *imperium naturae*.

2.2.1. Degradarea artefactelor anorganice - transformarea telurică

Artefactele fabricate din substanțe anorganice pot conține toate elementele chimice cunoscute. Unele materiale sunt preluate din natură și folosite în stare naturală, după modificări fizice minore. Acest lucru se întâmplă cu unii pigmenți și cu pietrele dure, cum ar fi flintul și obsidianul. Compușii chimici prezenți în aceste materiale au apărut în perioade de timp care depășesc cu mult orizontul de timp al omului, în procesul pe care îl vom numi aici „transformare telurică”. Evenimentele au avut loc cu sute de milioane de ani în urmă. Substanțele apărute atunci au rezultat dintr-un proces în care materiile prime originale, au fost supuse unor temperaturi și presiuni extreme. Avem de-a face cu materiale ancestrale foarte stabile din punct de vedere chimic. Degradarea obiectelor alcătuite din aceste materiale implică de obicei deteriorări fizice/mecanice, cauzate de apă, variații de temperatură (incendiu, îngheț/dezghet), vânt sau stres mecanic. Toți acești factori pot distruge forma obiectului, dar nu compoziția sa chimică. Cele mai vechi artefacte de acest tip datează din epoca paleolitică - o perioadă istorică care a început acum 2,6 milioane de ani. Pentru conservarea lor, orice mediu normal de interior este suficient.

Spre deosebire de cele menționate, metalele (cu excepția aurului), materialele ceramice și sticlele, precum și unii pigmenți minerali sunt materiale anorganice obținute prin intervenția tehnologică umană asupra mineralelor naturale. Ceramica și sticla sunt materiale foarte stabile. Le găsim în artefacte de zeci de mii de ani. Pe de altă parte, metalele și aliajele realizate de om, cum ar fi bronzul, alama și fierul, sunt mai puțin stabile. În prezența apei, a oxigenului, a oxizilor de sulf și azot din aer, sau a acizilor humici din sol, aceste metale suferă modificări chimice.

Artefactele realizate din materiale anorganice interacționează desigur cu lumea vie. Au fost identificate microorganisme care pot crește pe

substrat pur anorganic (litofile). Acestea sunt pionierii în stabilirea unor colonii care cuprind organisme complexe de la alge, licheni și ciuperci până la macrofloră și chiar animale [2.1]. Biodegradarea care apare în astfel de condiții afectează clădiri și monumente situate în aer liber, artefacte arheologice îngropate, dar și obiecte scufundate. Biodegradarea în astfel de circumstanțe este de obicei lentă. Uneori, degradarea biologică a fost învinuită incorect pentru daune produse mai degrabă de o acțiune fizică sau mecanică, decât de o acțiune biologică, spre exemplu daunele provocate clădirilor de rădăcinile plantelor.

Regula este că artefactele anorganice păstrate în mediul controlat al muzeelor, supuse unor operațiuni sumare de întreținere periodică, nu sunt în pericol de atac biologic.

În general, pentru conservarea artefactelor anorganice nu se utilizează tehnicile nucleare de decontaminare sau consolidare. Totuși trebuie menționate unele experimente notabile. Astfel, la Institutul Tehnologic Nuclear din Lisabona, Portugalia, au fost iradiate plăci de faianță pentru a fi dezinfectate. Producția de metabolism ai microorganismelor infiltrate în crăpăturile smalțului produsese modificări de culoare ale pigmentilor [2.2]. Atelierul Regional de Conservare NUCLEART (ARC NUCLEART), care funcționează la Grenoble, Franța, a consolidat structuri poroase de gips și piatră, prin polimerizarea radioindusă in situ [2.3].

2.2.2. Degradarea artefactelor organice - ciclul biologic

Un număr mare de artefacte sunt fabricate din materiale organice. Carbonul predomină în compoziția lor. Materialele organice apar într-un proces de transformare pe care îl vom numi „ciclu biologic”, în care principalii actori sunt plantele, animalele și microorganismele. Ciclul biologic se referă la producerea de materie organică în timpul vieții organismului, etapă urmată de moartea și dezintegrarea sa. Reziduurile rezultate din dezintegrare servesc drept materie primă pentru reluarea ciclului. Durata unui ciclu biologic este mult mai scurtă decât cea a transformărilor telurice. În cele mai multe cazuri, viața însăși nu durează mai mult de 100 de ani. Durata dezintegrării în condiții naturale este cu cel puțin un ordin de mărime mai scurtă. Deși există excepții, cele de mai sus sunt statistic corecte.

Artefactele din această categorie sunt fabricate din lemn, piele,

pergament, hârtie, textile etc. Din momentul în care un trunchi de copac devine o piesă de mobilier, un instrument muzical sau parte dintr-o clădire, sau din momentul în care pielea animalelor devine pergament, haină sau parte dintr-o piesă de mobilier, materia organică implicată va fi păstrată în condiții mai bune pentru conservarea sa, decât cele din natură. Atâta timp cât obiectul este utilizat, degradarea sa este lentă. După ce perioada de utilizare a trecut, multe artefacte trec printr-o perioadă de abandon (în cel mai defavorabil scenariu, fiind îngropate în pământ sau scufundate în apă). Apoi, ele sunt redescoperite (în cel mai defavorabil scenariu, de un amator) și adesea ținute în condiții nefavorabile conservării. În această etapă, degradarea avansează rapid. Abia din momentul în care ajung într-un muzeu, artefactele devin obiecte protejate și se vor susține modelului și ritmului natural de degradare. În muzeu, ciclul biologic în care aceste obiecte sunt implicate, va fi prelungit intenționat.

Cel mai important compus chimic prezent în lemn, hârtie sau fibre textile derivate din bumbac, in, cânepă, iută et al, este celuloza - o polizaharidă. În materialele de origine animală, cum ar fi pergamentul, pielea sau fibrele textile din lână și mătase, domină proteinele (colagen, cheratină, sericină și fibroină). Atât celuloza cât și proteinele sunt biopolimeri.

Degradarea materialelor organice naturale constă în esență în ruperea biopolimerilor structurali. Fenomenul este influențat de vulnerabilități, oportunități și condiții de conservare.

Vulnerabilitățile rezultă din caracteristicile structurale ale biopolimerilor. Unitățile monomere din celuloză sunt legate prin legături glicozidice. Aceste legături sunt punctele vulnerabile din lanțul polimeric. În structura unei macromolecule de proteină se găsesc legături peptidice. Într-o proteină, acestea sunt legăturile slabe și punctele de degradare ale biopolimerului.

Oportunitățile oferite de degradarea materiei organice constau în aceea că produșii de degradare sunt implicați în lanțurile trofice. Acești produși sunt substanțele nutritive necesare pentru începutul unor noi vieți și oferă posibilitatea reluării ciclului biologic. În acest fel, degradarea materiei organice joacă un rol esențial în viață.

Vulnerabilitățile și oportunitățile sunt factorii care duc la degradarea materialelor organice naturale. Cu toate acestea, uscarea excesivă sau izolarea perfectă față de oxigen și apă, sprijină conservarea chiar și într-un mediu natural. Spre exemplu, cele mai vechi artefacte organice

– sulițele de vânatoare din lemn de la Schöningen, Germania, datează din paleolitic (~300.000 BC) și au fost găsite în stare bună, fiind complet izolate în strate de cărbune [2.4]. Mumiile din mileniul al treilea B.C. și manuscrisele pe pergament și papirus datate din secolul al III-lea B.C., au fost descoperite în medii similare. Totuși, aceste exemple sunt excepții de la regula generală, aceea de degradare rapidă în condiții naturale. Insectele și microorganismele sunt instrumentele (bio)degradării obiectelor de natură organică.

În concluzie, toate substanțele organice care participă la ciclul vieții au stabilitate termodinamică scăzută în condiții naturale. Excepțiile sunt materiale cu un grad ridicat de mineralizare: os, corn și fildeș. Condițiile de mediu corespunzătoare și tratamentele de igienizare aplicate periodic în muzee, controlează dezvoltarea biodeteriogenelor (organismele care degradează artefactele culturale) conservând obiectele.

Tehnicile de iradiere sunt aplicate cu succes pentru a păstra artefactele din această categorie. Iradierea poate fi utilizată ca biocid fizic. De asemenea structurile din lemn uscat sau îmbibat cu apă, devenite poroase prin degradare, pot fi întărite prin polimerizare in situ cu ajutorul radiațiilor.

2.3. FENOMENUL DE BIODEGRADARE

Cea mai importantă caracteristică a degradării materiei organice este perioada scurtă în care are loc procesul, în comparație cu timpul de degradare a artefactelor anorganice.

O clasificare tradițională împarte factorii de degradare în factori fizici, chimici și biologici. Excesul de apă, temperatura și variațiile acesteia, ciclul îngheț/dezghet, vântul, lumina și stresul mecanic sunt considerate factori de degradare fizico-mecanică. Oxigenul și alte gaze, precum și acizii humici din sol sunt responsabili pentru degradarea chimică a artefactelor organice. Ciupercile, bacteriile și insectele sunt factori de degradare biologică, deoarece atacă artefactele organice care devin astfel sursa lor de hrană.

Un semn distinctiv al degradării substanțelor organice constă în faptul că procesul este rareori datorat numai factorilor fizici, chimici sau biologici. Toți acționează sinergic. Altfel spus, pentru ca degradarea biologică să aibă loc, sunt obligatorii anumite condiții de mediu. Exemple:

- un atac fungic apare numai când există o umiditate excesivă și o temperatură adecvată (factori fizici de degradare);
- degradarea chimică a proteinelor are loc prin hidroliză; această reacție chimică are nevoie de apă (factor de degradare fizică) și este catalizată de acizi – produși de metabolism ai microorganismelor uneori (factori biologici de degradare).

Atâta timp cât sunt prezenți numai factorii de degradare fizică și chimică, degradarea va evolua încet și proporțional cu intensitatea expunerii la acești factori. Dacă apar agresori biologici, degradarea se va accelera. Astfel, identificarea apariției unui atac biologic va avertiza conservatorul, care va lua apoi contramăsuri urgente.

În evaluarea degradării materiei organice este important să cunoaștem istoria artefactului. De exemplu:

- O scândură tăiată din mijlocul trunchiului copacului este mai puțin vulnerabilă la atacul xilofagilor (insecte și ciuperci care mănâncă lemnul) decât cea care conține ultimele inele de creștere.
- Arborii care s-au uscat în pădure, pot fi atacați de ciuperci, chiar dacă contaminarea nu este vizibilă. Piese de lemn confecționate din acești copaci păstrează sporii (forma latentă de viață a fungilor) și sunt mai vulnerabile la atacul insectelor.
- Pielea tăbăcită vegetal este mai vulnerabilă la dioxidul de sulf din aer, precum și la atacul fungic, decât pielea tăbăcită cu crom.

Unele detalii ale degradării biologice pot fi învățate din cunoașterea ecosistemelor. Astfel, reacțiile chimice de degradare a celulozei și proteinelor sunt catalizate de enzime specifice, denumite generic celulaze, respectiv, proteaze. Celulazele sunt produse cel mai frecvent de bacterii și ciuperci, în timp ce proteazele sunt produse de toate organismele vii.

De asemenea, este important să fim conștienți de cooperarea dintre biodeteriogenii de diferite specii. Prezența microorganismelor (bacterii, ciuperci) pe sau în artefactele muzeului nu poate fi evitată. Fără condiții care promovează dezvoltarea lor (în special umiditatea ridicată), fungii sau bacteriile se găsesc pe artefact în forma lor inactivă (spori) și nu sunt periculoși. Biodegradarea are loc totuși, atunci când sunt prezente anumite insecte. Cel mai bun exemplu îl constituie termita. Insecte xylofage

prin excelență, acestea pot ruina case întregi. Este ciudat că ele distrug lemnul, fără a avea capacitatea intrinsecă de a digera celuloza. Pentru a depăși această inabilitate, termitelile poartă microorganisme în tractul lor digestiv, care produc enzime celololitice. De fapt, termitelile nu se hrănesc cu celuloză, ci cu zaharurile rezultate din scindarea celulozei de către microorganisme. În acest fel, termitelile profită de produsele metabolice ale microorganismelor.

În combaterea degradării fizice și chimice, este eficient un plan care se bazează pe măsuri preventive ce includ controlul microclimatului, ventilația și curățenia. Respectate riguros, aceste măsuri previn apariția agresorilor biologici în spații controlate – muzee, arhive. Dacă un atac biologic a început totuși, trebuie tratat fiecare obiect din incintă, nu numai acelea care arată semne de atac activ. Acțiunea de dezinfectare trebuie să fie foarte amănunțită, deoarece ciupercile, bacteriile și insectele prezintă cicluri de viață complexe, ce implică forme de viață inactive (spori, ouă), rezistente la biocizi și la condiții nefavorabile.

2.4. AGENȚI DE BIODEGRADARE RELEVANȚI

Organismele vii capabile să distrugă produsele importante pentru om (alimente, culturi vegetale etc) sunt numite generic dăunători (eng. pl. – pests). Substanțele ce le anihilează se numesc pesticide. Pentru organismele capabile să degradeze artefactele culturale a fost propusă denumirea de biodeteriogeni [2.1]. Pentru a le combate cu succes, trebuie să știm caracteristicile lor de viață, obiceiurile lor de hrănire, condițiile externe necesare dezvoltării.

Ținând cont că acele artefacte de natură organică asupra cărora se aplică dezinfecția prin iradiere, se găsesc în mod normal în spații protejate (muzee, arhive), vor fi amintiți cu prioritate, dar nu exclusiv, acei biodeteriogeni care apar frecvent în condiții de interior.

2.4.1. Microorganisme

Microorganismele au o structură internă puțin complicată. Diversitatea lor este copleșitoare însă. De aceea o clasificare simplă nu este nici posibilă, nici utilă, în sensul acestui text. În plus, taxonomia tradițională este revizuită frecvent, deoarece metodele moderne de investigație care

implică studiul ADN, aduc noi informații cu privire la evoluția speciilor. Vom conveni deci că *fungii (actinomicetele, mucegaiurile, drojdiile) și bacteriile* sunt principalele microorganisme implicate în distrugerea artefactelor patrimoniului cultural. În condiții speciale se adaogă organisme mai complexe, precum *algele și lichenii*.

Microorganismele frecvent întâlnite în muzee și arhive sunt fungii. Bacteriile sunt implicate în principal în degradarea anaerobă (degradarea în mediu cu deficit de oxigen, cum este uneori cazul obiectelor îngropate etc). Actinomicetele preferă mediile subterane. Asociațiile simbiotice, cum ar fi algele sau lichenii, sunt rareori prezente în spații muzeale închise.

Artefactele culturale sunt afectate de microorganisme în diferite moduri. Reamintim că microorganismele devin periculoase în prezența umidității. Cele mai importante degradări sunt cele induse de reacțiile chimice cu anumite produse metabolice - enzime, acizi organici și alți metaboliți reactivi. Ruperea biopolimerilor care susțin structura artefactului, va conduce la eliberarea moleculelor mai mici - pigmenți, aditivi. În anumite cazuri, activitatea metabolică a ciupercilor favorizează atacul altor biodeteriogeni, cum ar fi insectele xilofagiene în cazul lemnului. Microorganismele pot produce pete pe suprafețele artefactelor și pot masca sau altera proprietățile suprafeței (spre exemplu gradul de alb sau hidrofilia, la hârtie). Colonizarea lor poate, de asemenea, să fixeze praful pe suprafața hârtiei, care apoi constituie un element abraziv periculos. Penetrarea microorganismelor în interiorul artefactelor poate produce stres mecanic, fisuri sau dezintegrare locală.

Oamenii au remarcat de mult că microorganismele se dezvoltă doar dacă există suficientă apă. Ca urmare, atunci când se fabrică pergamentul, pielea sau hârtia, acestea sunt acoperite cu produse care limitează absorbția apei.

În afară de umiditate, alți factori, cum ar fi temperatura, pH-ul și prezența altor nutrienți, pot favoriza apariția și dezvoltarea microorganismelor.

Fiziologia ciupercilor este de o mare diversitate. Această diversitate poate contribui la explicarea abilității lor extraordinare de a transforma materia organică. Coloniile se dezvoltă foarte rapid în condiții favorabile, ducând la o distrugere rapidă a substratului. Deși mediul muzeal este departe de a fi favorabil dezvoltării ciupercilor, în cazul dezastrelor

(inundații, de exemplu), daunele pot fi considerabile. Într-o astfel de situație, dezinfecția prin iradiere poate fi o măsură eficientă pentru prevenirea unei invazii fungice.

Bacteriile, care pot fi aerobe sau anaerobe, au nevoie de mai mult timp pentru degradarea artefactelor. Bacteriile pot fi asociate uneori cu degradarea produsă de ciuperci sau, în medii umede, pot fi principalii biodeteriogeni ai artefactelor. Bacteriile joacă un rol important în degradarea unor artefacte îngropate, scufundate în apă ori aflate în condiții anaerobe sau cu deficit de oxigen.

2.4.2. Insecte

Insectele sunt biodeteriogenii de temut pentru artefactele organice, prin abilitatea lor de a străbate barierele defensive ale muzeelor, bisericilor și a altor spații protejate. Sunt cunoscute aproximativ 70 de specii foarte periculoase [2.5]. Ele folosesc artefactele pentru hrană, adăpost și drept cuib de depunere a ouălelor.

Insectele au un ciclu de viață foarte complex, care include diferite forme de existență (eng. morfs) ale aceluiași individ, în timpul vieții sale. În ordinul *Coleoptera*, ce adună cei mai importanți biodeteriogeni în climat temperat, un ciclu biologic complet cuprinde următoarele forme ce se transformă una în alta: *ou*, *larvă*, *pupă* și *adult*. Diferențele dintre aceste forme de dezvoltare sunt extraordinare și se referă la aspect, obiceiuri alimentare, mobilitate, condiții propice pentru viață, precum și perioadă de existență. Nevoia de hrană este diferită de la o formă de viață la alta. *Oul* nu are schimburi metabolice cu exteriorul. Pentru transformarea în larvă se utilizează resursele interne. Incubarea durează un timp de ordinul zilelor. Nici în timpul stadiului *pupă*, care durează câteva săptămâni, insecta nu mănâncă și nu se mișcă. *Adultul* mănâncă puțin în timp ce își îndeplinește misiunile esențiale: reproducerea și depunerea ouălelor. Pe de altă parte, *larva* se hrănește tot timpul. Ea este pericolul real pentru artefacte. O larvă poate săpa galerii timp de ani de zile – până la 5 ani, înainte de a se transforma în pupă.

Cazul termitelor, cel mai temut biodeteriogen în climat tropical și subtropical, este diferit. Termitele formează comunități de indivizi specializați pentru reproducere, muncă și apărare. Lucrătorii hrănesc colonia folosind lemnul ca nutrient. Aceste insecte evită lumina și atacul

lor este observat de obicei numai atunci când structura este deja ruinată.

Chiar dacă există specii adaptate condițiilor extreme, intervalul optim de temperaturi pentru dezvoltarea insectelor în zonele temperate este de 20-30°C.

Deși insectele preferă niveluri ridicate de umiditate pentru creștere, aceasta nu este o condiție esențială, așa cum este pentru ciuperci. Umiditatea ridicată este necesară doar pentru dezvoltarea insectelor care trăiesc în simbioză cu microorganisme, cum ar fi termitel.

2.5. BIODEGRADAREA DIFERITELOR MATERIALE ORGANICE

Această secțiune se bazează pe lucrarea lui Piero Tiano [2.1.], care conține o trecere în revista excelentă a domeniului, cu sute de referințe.

2.5.1. Lemn

Lemnul este cel mai important material organic din istoria omenirii și probabil primul utilizat, pentru foc. Lemnul a însoțit istoria omului, fiind folosit pentru a construi obiecte vitale ca adăposturi, unelte, mobilier, arme, bărci și trăsur, precum și opere de artă religioase sau simbolice. Ca atare, este de o importanță deosebită pentru patrimoniul cultural.

Lemnul este un compozit complex de biopolimeri, având celuloza ca cea mai importantă componentă, cu până la 40-50% din greutate. Celuloza este un polimer liniar al glucozei, cu capacitatea de a se asocia în ansambluri ordonate (cristalite nanometrice, fibrile, fibre). Urmare a acestui ridicat nivel de organizare și a hidrofiliei sale, celuloza poate fi considerată drept componenta principală a structurii lemnului. O altă macromoleculă importantă este lignina, prezentă într-o concentrație de până la 25-30% în lemn. Ea se găsește în formă amorfă în pereții celulelor lemnului. Având cicluri aromatice, este relativ hidrofobă. Un alt polimer, hemiceluloza, prezent în concentrație de până la 20-25%, este de asemenea o polizaharidă, dar conține mai multe tipuri de monomeri (heteropolizaharidă) și are o structură aleatorie, ramificată, amorfă. Hemiceluloza are o rezistență mecanică redusă și poate fi ușor hidrolizată. Într-un model simplificat, fibrilele de celuloză, care conferă lemnului principalele caracteristici mecanice (flexibilitate, rezistența la rupere et al) sunt încorporate într-o matrice de lignină, care rezistă la compresiune. Hemiceluloza leagă lignina și celuloza.

Lemnul este deosebit de vulnerabil la biodeteriogeni. Atacurile fungice depind de umiditatea substratului. Studiile au demonstrat că biodeteriogenii acționează chiar începând de la o umiditate intrinsecă de 20%. Acest nivel de umiditate se întâlnește frecvent în natură și de aceea fungii sunt principalul agent de descompunere a materialelor celulozice în mediu natural.

Ciupercile active în biodegradare sunt recunoscute în general prin culoarea și textura produșilor de descompunere:

- putregai alb; include *Pholiota sp.*, *Fomes sp.*, *Pleurotus sp.*;
- putregai brun; include *Merulius lacrymans*, *Poria sp.*, *Coniophora puteana*;
- putregai moale; include *Chaetomium*, *Xylaria*, *Alternaria*, *Humicola Stenphylium*

Speciile de putregai alb produc enzime extracelulare și distrug întreaga celulă de lemn, degradând întregul complex de lignoceluloză. Cele din categoria putregai brun degradează preferențial celuloza și alte polizaharide, dar nu atacă lignina. Speciile de putregai moale sunt asociate cu degradarea lemnului îmbibat cu apă.

Principalele insecte implicate în dezintegrarea lemnului sunt prezentate în tabelul 2.1.

TABEL 2.1. INSECTE GĂSITE FRECVENT ÎN MATERIALE LEMNOASE

Ordin	Familie	Semne ale degradării
<i>Coleoptera</i>	<i>Anobiidae</i>	Tunele răsucite și circulare; găuri de ieșire circulare
	<i>Lyctidae</i>	Tunele cu secțiune ovală
	<i>Bostrychidae</i>	Găuri și tunele circulare
	<i>Cerambycidae</i>	Tunele și găuri mari și ovale
<i>Isoptera</i>	<i>Kalotermitidae</i>	Găuri adânci în formă de crater; întregul interior al obiectului poate fi distrus, în timp ce suprafața exterioară este lăsată intactă
	<i>Rhinotermitidae</i>	
<i>Hymenoptera</i>	<i>Siricidae</i>	Tuneluri și găuri circulare de dimensiuni mari

În condiții de interior cel mai frecvent găsim membrii familiei *Anobiidae*. Cei din familia *Lyctidae* pot fi găsiți chiar și atunci când umiditatea nu este ridicată, în special pe alburn. Membrii familiei *Cerambycidae* sunt biodeteriogeni consacrați ai acoperișurilor și pardoselilor din lemn. Termitele sunt un biodeteriogen puternic distructiv în zone tropicale și subtropicale.

Insectele ce degradează artefactele organice au diverse particularități de hrănire. Unele dintre ele mănâncă selectiv numai celuloză (fibre de lemn, hârtie și fibre textile), proteine (lână, piele, pergament) sau amidon (adezivi pentru hârtie). Altele mănâncă orice. Unii xilofagi nu reușesc să digere direct celuloza și trăiesc în simbioză cu microorganisme care produc celulază. Microorganismele distrug celuloza și eliberează reziduuri metabolice pe care le utilizează insecta gazdă. Anumite insecte consumă adezivii din hârtie. Ei distrug cărțile prin diminuarea coeziunii cărților.

Există insecte xylofage care colonizează copaci vii (Fig. 2.1). Altele populează numai lemnul mort – artefactele din lemn (Fig. 2.2 și 2.3). Ultimele sunt mai periculoase deoarece, în stadiul larvar, se dezvoltă sub suprafața artefactului și pot trece neobservate.



FIG. 2.1 Atac de insecte asupra unui copac viu; proiect DELCROM, România (arhiva IRASM – IFIN-HH)



FIG. 2.2 Atac de insecte într-un mediu necontrolat; mobilă din Biserica Comunei Izvoarele – Prahova; tratament în cadrul proiectului DELCROM, România (arhiva IRASM – IFIN-HH)



FIG. 2.3 Atac de insecte în Muzeul AMAN, București; tratament în cadrul proiectului DELCROM, România (arhiva IRASM – IFIN-HH)

2.5.2. Hârtie

Hârtia constă dintr-o aglomerare neordonată de fibre de celuloză. Istoria fabricării hârtiei este oarecum obscură, dar țara de origină este cu siguranță China. Documentele menționează că Ts'ai Lun fabrica hârtie în anul 105 d.Hr. [2.6.]. Secretul producerii a fost păstrat cu strășnicie până în secolul VIII, când l-au aflat arabii și apoi lumea întreagă. Modificările tehnologice aduse de europeni au fost remarcabile. Până la sfârșitul secolului al XVIII-lea, unica materie primă pentru hârtia de scris, erau cârpele albe de bumbac, iar singura metodă de albire era expunerea la soare. După descoperirea clorului (Scheele, 1774) și a soluției sale alcaline (hipoclorit de sodiu, Berthollet, 1775), numită L'eau de Javel (apă de Javel), aceste substanțe chimice au fost utilizate ca agenți de albire, permițând producerea de hârtie albă și din cârpe colorate. Hârtia produsă după tehnologia originală era foarte sensibilă la umiditate, modificându-și dimensiunile în aer umed. Illig (1805) a găsit o soluție la această problemă, introducând așa numiții aditivi de încliere: colofoniu (o rășină vegetală, un „clei”) și alaun de potasiu $KAl(SO_4)_2$. Acești aditivi au redus considerabil absorbția apei, iar hârtia a devenit mai hidrofobă și stabilă dimensional în condiții normale. Acești aditivi se numesc și acum în limba engleză „sizing additives” (eng. *size = dimensiune*). Mai târziu, alaunul de potasiu a fost înlocuit cu sulfatul de aluminiu $Al_2(SO_4)_3$, așa-numitul alaun pentru hârtie, la vremea respectivă. Colofoniul era adăugat în forma unei soluții sau dispersii alcaline. Din păcate, din hidroliza alaunului, ca și din cea a sulfatului de aluminiu, rezultă acid sulfuric, ceea ce duce la deteriorarea hârtiei. În 1799, Robert inventează în Franța mașina Fourdrinier, care este substanțial îmbunătățită ulterior. Cu acest utilaj s-a putut produce hârtie printr-un procedeu continuu și nu foaie cu foaie. Echipamentul a permis utilizarea și altor surse de fibre decât cârpele. Una dintre alternativele cele mai promițătoare și mai puțin costisitoare a fost tocătura din lemn, dezvoltată de Keller în Germania în 1844. Pasta obținută era considerabil inferioară celei obținute din zdrențe, fibrele fiind mai scurte, mai puțin flexibile și contaminate cu lignină. Materia primă se găsea însă din belșug și era ieftină. Hârtia din celuloză de lemn tocat, produsă între 1850 și 1880, a avut o durată de viață foarte scurtă, s-a îngălbenit și a devenit casantă într-o asemenea măsură încât cărțile tipărite pe această hârtie nu mai pot fi folosite. Odată cu inventarea măcinării fine a lemnului, lignina poate fi

dizolvată, iar fibrele celulozice rezultate sunt aproape pure. Cu toate acestea, prin utilizarea lemnului ca materie primă pentru celuloză și prin utilizarea alaunului, hârtia fabricată după 1850 este mai puțin durabilă decât hârtia produsă înainte de 1850 [2.7].

Deși sursa de fibre s-a schimbat de la cârpe de bumbac sau in, la lemn, natura sa este încă vegetală. Caracterul regenerabil al regnului vegetal asigură o cantitate teoretic nelimitată de materie primă. Există diferențe în cantitatea de celuloză conținută, dar în toate cazurile, procentul este mare: bumbac ~95%; in ~80%; lemn ~45%; ierburi ~30%. Structura fibrei oferă hârtiei nu numai rezistența, ci și o senzație plăcută la atingere.

Din punct de vedere al conservării, consecința modificărilor tehnologice a fost importantă: hârtia veche este mai rezistentă la biodeteriogeni decât hârtia modernă.

În comparație cu lemnul, hârtia este mai hidrofilă și astfel este mai vulnerabilă la biodeteriogenii microscopici: bacterii, fungi (ciuperci) și actinomicete (mușcagauri). Cea mai importantă amenințare pentru hârtie vine de la ciuperci, deoarece acestea au nevoie pentru dezvoltarea lor de mai puțină apă decât bacteriile și mușcagaurile. De exemplu, speciile obișnuite, cum ar fi cele din genurile *Aspergillus* și *Penicillium*, sunt capabile să crească chiar și pe substraturi cu un conținut de umiditate cuprins între 7 și 8%. Unele tipuri de hârtie sunt suficient de hidrofile pentru a atinge această umiditate intrinsecă doar prin luarea apei din atmosferă, dacă umiditatea relativă a aerului este de 62 - 65%.

Semnele distinctive ale hârtiei atacate de ciuperci sunt pete de orice culoare posibilă: roșu, violet, galben, maro, negru etc. (FIG. 2.4).

Uneori hârtia poate deveni păsloasă și fragilă. Degradarea microbială a celulozei are ca rezultat formarea de oligozaharide cu proprietăți aglutinante. Acest lucru poate duce la lipirea paginilor. Fenomenul este frecvent observat când cartea a fost scufundată în apă.

Insectele sunt frecvent întâlnite printre deteriogenii hârtiei (Tabelul 2.2). Celuloza și alte componente ale hârtiei reprezintă hrana preferată a anumitor insecte. Unele cărți sunt artefacte alcătuite din mai multe substanțe - hârtie, textile, piele, lemn, adezivi. Pentru insectele consumatoare de clei sau piele, biodegradarea hârtiei poate fi doar o activitate colaterală.

Deteriorarea hârtiei de către insecte poate include abraziunea suprafeței, eroziunea suprafeței, sau producerea de găuri și tunele (FIG. 2.5).



FIG. 2.4. Un exemplu de carte infectată cu mușegai (arhiva TNO - Olanda).

TABEL 2.2. INSECTE RESPONSABILE DE BIODETERIORAREA HÂRTIEI.

Ordin	Familie	Semne ale degradării
<i>Thysanura</i>	<i>Lepismatidae</i>	Eroziune mică de suprafață cu contur neregulat
<i>Isoptera</i>	<i>Kalotermitidae</i> <i>Rhinotermitidae</i> <i>Termitidae</i>	Găuri adânci și eroziune în formă de crater; distrugerea interiorului obiectului în timp ce exteriorul rămâne intact
<i>Coleoptera</i>	<i>Anobidae</i>	Tunele răsucite și circulare
	<i>Lyctidae</i>	Tunele cu secțiune ovală
	<i>Dermestidae</i>	Tunele scurte obstruate, cu secțiune circulară și perforare neregulată
<i>Corrodentia</i>	<i>Liposcelidae</i>	Mici abraziuni superficiale
<i>Blattoidea</i>	<i>Blattidae</i> <i>Blattellidae</i>	Eroziune superficială

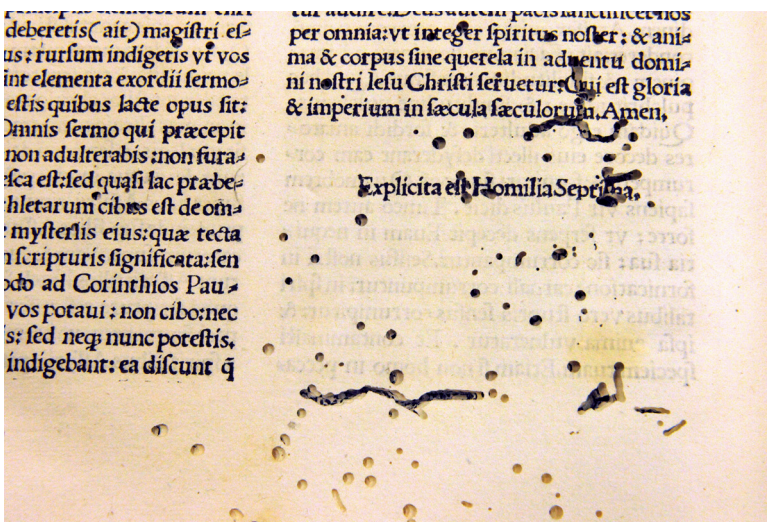


FIG. 2.5. Atac de insecte asupra hârtiei; carte de sec. XVI; dezinsecție în cadrul proiectului ARCON, România (arhiva IRASM - IFIN-HH)

2.5.3. Piele, pergament

Pielea și pergamentul sunt confecționate din pielea animalelor, de obicei mamifere. Spre deosebire de lemn, pielea animală crudă este biodegradată rapid dacă nu se iau măsuri specifice de conservare (de exemplu, sărare, uscare). În lipsa acestora, procesul de descompunere începe la câteva ore după jupuire.

Artefactele din piele sunt destinate a fi utilizate în aer liber. Pergamentul însă a fost destinat să fie substrat pentru scriere - prin urmare, pentru uz interior. Procesele tehnologice utilizate pentru fabricarea pieilor și a pergamentului reflectă aceste două scopuri diferite.

Pielea are multiple funcții într-un organism viu și de aceea are o structură complexă. Principala componentă chimică a pielii este colagenul. De altfel, această proteină fibrilară constituie matricea tuturor țesuturilor animale. În structura sa, pielea unui animal viu, ca și cea proaspăt jupuită, arată ca un material nețesut, expandat și are trei straturi: epidermă, dermă și hipodermă. Numai derma este utilizată pentru confecționarea artefactelor, deoarece numai în acest strat fibrele de colagen au forma, orientarea și consistența necesare pentru a obține piele confecționată cu proprietăți mecanice bune.

Transformarea unei piei crude în piele confecționată este un proces complicat care implică mai multe etape tehnologice. Aceste etape includ: separarea dermei de ansamblul pielii, slăbirea coeziunii naturale a fibrelor și, cel mai important, tanarea. Tanarea este un proces de reticulare prin care se formează legături chimice între tanin și colagen. Un număr important de grupări chimice hidrofile sunt blocate în acest fel, iar ansamblul devine mult mai puțin hidrofil. Se consideră că după tanare, pielea crudă a devenit piele confecționată, deși există și alte etape care finalizează procesul de fabricație. La final, retenția normală a apei în pielea confecționată este redusă la ~ 15%. La acest nivel de umiditate microorganismele nu o atacă.

Cei mai importanți factori de îmbătrânire a pielii sunt factori fizici, chimici și mecanici. Poluanții proveniți din activități industriale, cum ar fi oxizii de sulf sau azot, catalizează degradarea hidrolitică a colagenului. Aceeași reacție chimică poate fi favorizată de ionii metalici prezenți în piele din procesul de fabricație. Alte mecanisme de îmbătrânire sunt: distrugerea oxidativă a colagenului datorată ozonului și radicalilor liberi produși de exemplu, de componenta UV a luminii vizibile; ruperea fotochimică a legăturilor dintre colagen și tanin; degradarea mecanică provocată de utilizarea ca atare a obiectului, sau în combinație cu fluctuațiile de temperatură și umiditate.

Atât timp cât concentrația de apă din piele rămâne redusă, degradarea biologică nu joacă un rol important în degradarea pielii. Degradarea biologică apare de obicei atunci când ceilalți factori de îmbătrânire au provocat deja mărirea procentului de apă din piele. Se mai întâmplă ca, în urma unor intervenții de conservare necorespunzătoare, pielea (sau pergamentul) să capete o suprafață grasă, ceea ce duce la reținerea prafului în acea zonă. Ca și în cazul hârtiei, prezența prafului conduce la creșterea hidrofiliei.

Pergamentul este fabricat prin îmbăiere în soluție alcalină de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (eng. *liming*), depărare și uscare sub tensiune mecanică a pieilor crude. La fabricarea pergamentului nu se aplică tanarea, ceea ce înseamnă că pergamentul este rehidratabil. Prin urmare, acesta este mult mai vulnerabil la degradarea biologică.

Colagenul parțial descompus este vulnerabil la specii de bacterii din genurile *Bacillus* (aerobe), *Pseudomonas* (aerobe), *Bacteroides* (anaerobe) și *Sarcina* (anaerobe). Ciupercile din genurile *Cladosporium*, *Fusarium*,

Ophiostoma, *Scopulariopsis*, *Aspergillus*, *Penicillium* și *Trichoderma* au fost de asemenea raportate ca biodeteriogeni ai pergamentului antic.

Pielea tăbăcită vegetal este mai vulnerabilă la atacul biologic decât pielea tăbăcită cu crom. Printre ciupercile care deteriorează pielea sunt și specii lipolitice. Acestea folosesc grăsimile prezente în piele ca sursă de carbon. Degradarea este produsă în acest caz de produșii de metabolism ai fungilor.

Principalele deteriorări microbiene ale pielii și pergamentului sunt apariția de pete colorate și modificarea proprietăților mecanice. Pergamentul biodeteriorat este dur, fragil și deformat și are adesea pete colorate care distrug textul scris.

De asemenea, insectele atacă uneori pielea și pergamentul (Fig. 2.6-2.8). *Dermestidae* (gândacii de piele) și *Tineidae* (*Lepidoptera*) sunt principalele familii raportate a fi responsabile pentru acest lucru.



FIG. 2.6. Atac de insecte asupra pielii din legătura unei cărți de secol XVI; legătura conține lemn și piele; partea din lemn a fost complet distrusă (și ulterior înlocuită), în timp ce pielea a fost o victimă colaterală; tratament în cadrul proiectului ARCON, România (arhiva IRASM – IFIN-HH)



FIG. 2.7. Atac de insecte asupra pielii din legătura unei cărți de secol XVI; legătura conține metal și piele; tratament în cadrul proiectului TEXLECONS, România (arhiva IRASM – IFIN-HH).



FIG. 2.8. Atac de insecte asupra unui cojoc din piele, Centrul Național Muzeal MOLDOVA - Iași; tratament în cadrul proiectului TEXLECONS, România (arhiva IRASM – IFIN-HH)

2.5.4. Textile

Hainele, covoarele, tapiseriile, pânza picturilor de șevalet *et al*, sunt artefacte muzeale ce conțin fibre textile. Textilele pot fi de origine vegetală sau animală.

Principalul component chimic al fibrelor textile de origine vegetală este celuloza, extrasă din bumbac, in, cânepă și alte câteva plante. Din acest motiv, procesul de biodegradare a produselor textile vegetale are multe caracteristici comune cu procesele de biodegradare a lemnului și a hârtiei. Cu toate acestea, trebuie menționate anumite aspecte specifice produselor textile. Acestea sunt legate de caracteristicile de fabricație a textilelor. Fibrele care conțin lignină sau ceară rezistă biodeteriogenelor mai bine decât fibrele celulozice purificate. Fibrele care conțin amidon, pectină, dextrină și alți carbohidrați cu greutate moleculară mică sunt mai ușor biodegradate. Metalele cum ar fi cuprul sau argintul, prezente ocazional în fibrele compozite utilizate pentru îmbrăcămintea scumpă, pot inhiba creșterea microbială. De asemenea, țesăturile rare au o capacitate mai mare de a atrage biodeteriogenii decât țesăturile dese, deoarece rețin mai mult praf, care este hidrofil.

În condiții de interior, cei mai frecvenți biodeteriogeni ai textilelor sunt fungi din genurile *Alternaria*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Memnoniella*, *Myrothecium*, *Neurospora*, *Penicillium*, *Scopulariopsis*, *Stachybotrys* și *Stemphylium*, *Chaetomium* și *Mucor*.

Bacteriile devin active în situații de umiditate ridicată, care caracterizează frecvent condițiile de mediu în care sunt identificate textilele arheologice. În astfel de artefacte textile au fost identificate tulpini de *Cellvibrio*, *Microspora* și *Clostridium*.

Insectele nu pot folosi textilele pentru adăpost, așa cum o fac cu lemnul. Atacul este favorizat atunci când fibrele conțin adezivi, cum ar fi amidonul sau polizaharidele cu greutate moleculară mică. În zone cu climă temperată și în condiții de interior, principalele familii de insecte raportate că au deteriorat textilele sunt *Lepismatidae* (de exemplu *Lepisma saccharina*) și *Blattidae* (gândacii). În latitudinile tropicale și subtropicale, insectele responsabile pentru deteriorarea materialelor textile sunt *Mastotermitidae*, *Hodotermitidae* și *Rhinotermitidae* (termite).

Biodeteriorarea textilelor vegetale produsă de fungi se manifestă prin decolorare sau din contră – apariția de pete colorate și prin diminuarea

rezistenței mecanice. Insectele pot distruge părți însemnate din artefact.

Cele mai importante textile de origine animală sunt lâna și mătasea, în care principalele componente chimice sunt proteine. Lâna este produsă din părul oilor și a altor câteva mamifere. Proteina din lâna este cheratina. Cheratina nu este solubilă în apă, dar are o tendință ridicată de a absorbi apa din mediul înconjurător (higroscopicitate). Mătasea conține două proteine: fibroină și sericină. Fibroina este foarte rezistentă la agenți chimici și este insolubilă în apă. Sericina în schimb este solubilă în apă. Prezența sa mărește vulnerabilitatea mătăsii. Sericina este îndepărtată uneori tehnologic, în apă caldă și săpun, ca mijloc de creștere a rezistenței la deteriorării microbiene.

În general, artefactele din lâna și din mătase sunt mai puțin atacate de microorganisme decât artefactele realizate din fibre de celuloză. Datorită higroscopicității ridicate, fibrele proteice sunt mai frecvent atacate de bacterii decât de ciuperci.

Sunt raportate ca biodeteriogeni pentru lâna, bacterii din genurile *Bacillus* (*B. mesentericus* și *B. subtilis*), *Proteus* (*P. vulgaris*) și *Pseudomonas aeruginosa*, precum și *Actinomyces* (*Streptomyces albus* și *Streptomyces fradiae*). Dintre fungii ce atacă lâna, sunt periculoase speciile cheratinofile și dermatofitice din genurile *Trichophyton* și *Microsporum*, deoarece pot produce infecții ale pielii.

Dacă sericina este îndepărtată în procesul de fabricație, mătasea are o bună rezistență la microorganisme. În condiții de muzeu, atacul microbial apare rar la mătase. Când apare totuși, deteriorarea se manifestă prin pete colorate, decolorări și o diminuare a rezistenței la rupere. Ciupercile pot fi deteriogeni de mătase, dar acest lucru nu a fost încă dovedit. A fost menționată prezentă unor tulpini din genurile *Aspergillus*, *Fusarium* și *Trichoderma*.

Ca o concluzie, în condiții de interior, insectele sunt cei mai importanți biodeteriogeni ai textilelor, așa cum este cazul tuturor materialelor organice. Speciile raportate cel mai frecvent sunt cele din familia *Dermestidae* (*Anthrenus erbasci*, *Anthrenus museorum*, *Attagenus pellio*), *Oecophoridae* și *Tineidae* (molia de îmbrăcăminte – *Tinea pellionella*, *Tineola bisselliella* și *Hofmannophila pseudospretella*).

2.5.5. Altele

Biodegradarea lemnului îmbibat cu apă (eng. - *waterlogged wood*; fr. - *bois gorgé d'eau*) se datorează microorganismelor care pot trăi în condiții de umiditate ridicată, conținut scăzut de oxigen și concentrație mare de săruri. Algele, moluștele ce găuresc lemnul și scoicile, pot contribui la biodegradare dacă lemnul se găsește într-un mediu marin. De regulă evoluția nu este rapidă. Foarte adesea, cea mai importantă problemă de conservare a lemnului îmbibat cu apă este consolidarea structurii degradate, nu stoparea biodegradării [2.8].

Unele piese de patrimoniu cultural sunt compuse sau fabricate din mai mult de un singur material. Artefactele compozite combină materiale organice și anorganice. Exemple sunt mumiile, picturile pe pânză și pe lemn, precum și hainele scumpe în care perlele, chihlimbarul și pietrele semiprețioase însoțesc fibrele textile. Unele fibre sunt înnobilate cu metale prețioase.

Pentru a evalua biodegradarea unui material compozit, trebuie avut în vedere faptul că biodeteriorării acționează separat asupra componentelor distincte. Ca o consecință, la planificarea unei intervenții, trebuie luat în considerare mai întâi riscul pentru componenta cea mai primejduită, dar și felul în care intervenția asupra unei componente le influențează pe celelalte. Astfel, dacă se are în vedere utilizarea dezinfecției prin iradiere, trebuie considerate efectele secundare ale iradierii asupra fiecărei componente.

Materialele folosite în restaurare – cleiurile animale și vegetale, lacurile, culorile de pictură, materialele utilizate pentru curățare și înmuierare etc., sunt de origine organică și au un conținut ridicat de apă. Ele cresc riscul unui atac biologic. Acest lucru poate produce surprize în cazul frescelor în care substratul este complet anorganic și se presupune că nu prezintă risc pentru dezvoltarea microorganismelor.

Se recomandă o grijă specială în cazul icoanelor restaurate. Când sunt expuse în biserici, ele sunt într-adevăr ținute într-un mediu necontrolat, ceea ce ar putea însemna că există valori de umiditate și temperatură care stimulează dezvoltarea microorganismelor. Condițiile favorabile dezvoltării microorganismelor se pot constitui și ocazional, de exemplu atunci când credincioșii ating icoanele, contaminându-le.

Filmul fotografic este un material de tip sandwich fabricat din două

straturi principale. Substratul este un material plastic (azotat sau acetat de celuloză – pentru filme vechi, poliester – pentru filme moderne). Stratul activ este realizat din gelatină care conține o suspensie de cristale microscopice de argint pentru filme alb-negru sau coloranți organici pentru filme color. Aici sunt cantonate informațiile vizuale. Stratul de material plastic este un suport mecanic hidrofob care permite manipularea filmelor. El nu prezintă risc de biodeteriorare. Gelatina stratului activ este însă biodegradabilă ca orice proteină, dacă umiditatea este excesivă. Cei mai importanți biodeteriogeni sunt mucegaiurile. În cazul utilizării decontaminării prin iradiere, trebuie luate în considerare posibilele efecte secundare pentru toți componenții – gelatină, coloranți și material plastic [2.9].

BIBLIOGRAFIE LA CAPITOLUL 2

- [2.1] TIANO, P. *Biodegradation of Cultural Heritage: Decay Mechanisms and Control Methods*, National Research Council, Florence (2002).
http://www.arcchip.cz/w09/w09_tiano.pdf
- [2.2] SILVA, T.P., FIGUEIREDO, M.O., BARREIROS, M.A., PRUDÊNCIO, M.I., *Diagnosis of pathologies in ancient (seventeenth-eighteenth centuries) decorative blue-and-white ceramic tiles: Green stains in the glazes of a panel depicting Lisbon prior to the 1755 earthquake*, *Stud. Conserv.* **59** (2014) 63-68.
- [2.3] TRAN, Q.K., DESCALLE, P., *Etude des variations dimensionnelles de pierres calcaires imprégnées en fonction des propriétés élastiques des résines radio-durcissables utilisées*, (Proc. Vth Intl Congress on Deterioration and Conservation of Stone), Presses Polytechniques Romandes, Lausanne (1985) 809-815.
- [2.4] KOUWENHOVEN, A.P., *Newsbriefs: World's oldest spears*, *Archaeology* (1997)20.
- [2.5] WELLHEISER, J.G., *Nonchemical Treatment Processes for Disinfestation of Insects and Fungi in Library Collections*, K. G. Saur, Berlin (1992).
- [2.6] BOWER, P., *Turner's Papers: A Study of the Manufacture, Selection and Use of His Drawing Papers 1787-1820*, Tate Gallery, London (1991).
- [2.7] HAVERMANS, J.B.G.A., *Environmental influences on the deterioration of paper*, Barjesteh, Meeuwes, Delft (1995).
- [2.8] POINTING, S.B., JONES, E.B.G., JONES, A.M., *Decay prevention in waterlogged archaeological wood using gamma irradiation*, *Int. Biodeterior. Biodegradation* **42** (1998) 17-24.
- [2.9] MITRAN, A., PONTA, C.C., DANIS, A., "Traitement antimicrobien des films cinématographiques au moyen du rayonnement gamma", *La conservation à l'ère du numérique, Actes des quatrième journées internationales d'études de l'ARSAG*, Groupe Lienhart Press, Paris (2002) 235-48.

Capitolul 3

DIRECȚII ȘI ORIENTĂRI ÎN DEZINFECȚIE

C.C. PONTA

Centrul de Iradiere Tehnologice IRASM,
Institutul Național de Fizică și Inginerie Nucleară Horia Hulubei,
Măgurele – Ilfov, România
Email: cponta2013@gmail.com

J.B.G.A. HAVERMANS

TNO Environmental Modelling, Sensing and Analysis,
Breggen op Zoom, Netherlands

3.1. INTRODUCERE

Artefactele de patrimoniu cultural trebuie dezinfectate din mai multe motive. Printre acestea se numără eliminarea a două riscuri grave: riscul ca infecția să provoace deteriorarea artefactului mai rapid decât în mod obișnuit și riscul ca la contactul cu obiectul contaminat să fie afectată sănătatea utilizatorului [3.1]. Tehnicile tradiționale de dezinfecție au fost împrumutate din medicină și agricultură, domenii în care cantități uriașe de mărfuri trebuie tratate împotriva microorganismelor sau insectelor. Într-adevăr, echipamentele și tehnicile utilizate în medicină și agricultură sunt ușor de adaptat pentru tratamentul patrimoniului cultural [3.2]. Tratamentele cu radiații sunt larg utilizate pentru sterilizarea produselor medicale, a grefele de țesuturi sau dezinfecția unor produse alimentare. În cele ce urmează este prezentată o trecere în revistă a tehnicilor de dezinfecție convenționale și a tehnicilor cu radiații.

3.2. TEHNICI DE DEZINFECȚIE CONVENȚIONALE

3.2.1. Tratamente cu gaze biocide

Sterilizarea dispozitivelor medicale sau dezinfecția grânelor se efectuează uneori prin fumigare, adică prin punerea acestora în contact cu gaze otrăvitoare pentru orice structură vie. Oxidul de etilenă – abreviat

ETO; formula chimică - $(\text{CH}_2)_2\text{O}$ – și bromura de metil (CH_3Br) sunt gazele cel mai frecvent utilizate în acest scop. Întotdeauna când se utilizează gaze biocide, există dificultăți legate de securitatea oamenilor implicați și de protecția mediului. Bazându-se pe difuzia gazului într-un material deseori neomogen, eficacitatea fumigării este greu de prezis, chiar și atunci când cei mai importanți parametri de tratament - concentrația gazului, temperatura și timpul de contact, sunt controlați cu exactitate. Și dincolo de acest aspect, care ține de fiabilitate, eficacitatea fumigării are o limită obiectivă determinată de penetrarea aleatorie a gazului în interiorul artefactului.

- *ETO*, care s-a dovedit a fi o substanța foarte periculoasă (cancerigenă, extrem de inflamabilă și explozivă), trebuie în prezent utilizată doar în echipamente cu un design special, prevăzute cu compartiment de anihilarea gazului rezidual. Trebuie adăugat că *ETO*, absorbit de obiecte pe durata tratamentului, este cedat ulterior din artefactele tratate, contaminând astfel aerul din interiorul muzeului, arhivei, depozitului [3.3]. Utilizarea *ETO* este interzisă în unele țări, indiferent de scop.
- CH_3Br , la fel ca mulți alți derivați halogenați, distruge stratul de ozon, fiind deja interzisă în multe țări [3.4].
- *2-fenilfenolul* este utilizat în soluție etanolică și poate provoca iritații grave ale pielii.
- *Paradichlorobenzenul* este un fumigant care pare a fi eficient ca fungicid; este însă periculos dacă este inhalat [3.5].

3.2.2. Tratamente termice

Tratamentele fizice bazate pe efecte termice – încălzire sau liofilizare (înghețare, urmată de uscarea prin sublimare), nu sunt utilizate pe scară largă în conservarea patrimoniului cultural, ca urmare a efectelor secundare ce sunt ușor de imaginat. Sunt necesare încă multe studii privind consecințele acestor tratamente asupra diferitelor tipuri de materiale. Astfel, liofilizarea unui artefact atacat de mucegai, utilizând temperaturi mai scăzute de -18°C , poate distruge forma activă a ciupercii (forma vegetativă), însă forma sa latentă (forma de rezistență – sporii) va supraviețui tratamentului. Nici produșii periculoși rezultați din metabolismul ciupercilor, nu pot fi îndepărtați prin liofilizare. Pe de altă parte,

speranța că temperatura ridicată ar putea distruge nu numai mucegaiurile, ci și reziduurile metabolice toxice, nu se confirmă. Unele pot fi distruse la temperaturi ridicate, însă doar în condiții inacceptabile pentru integritatea artefactelor. De exemplu, pentru a distruge micotoxinele din clasa trichothecenelor, este nevoie de un tratament la 260°C, timp de o jumătate de oră [3.6], condiții în care majoritatea substanțelor organice sunt grav deteriorate.

Tratamentele termice, prin natura lor, pot fi aplicate numai pe loturi mici de obiecte.

3.2.3. Tratamente cu lichide biocide

Orice lichid în contact prelungit cu un artefact din lemn, hârtie, piele sau orice alt material organic, deteriorează obiectul. Din acest motiv, la utilizarea lichidelor, timpul de contact trebuie să fie scurt, iar acțiunea biocidă așteptată va fi limitată la suprafața artefactului.

Cele mai consistente și precise informații despre proprietățile de dezinfecție ale substanțelor chimice pot fi găsite în referințele medicale. Una dintre cele mai respectate este GHIDUL PENTRU DEZINFECTAREA ȘI STERILIZAREA ÎN UNITĂȚI MEDICALE, publicat în SUA în 2008 de către Centrul SUA pentru Controlul și Prevenția Bolilor [3.7]. Iată câteva exemple:

- *Alcoolul etilic și alcoolul izopropilic* sunt fungicide și bactericide și acționează foarte rapid (de exemplu: o expunere de 10s este suficientă pentru a distruge *Escherichia coli* și *Salmonella typhosa*). Aceste lichide nu distrug sporii bacterieni.
- Se utilizează de asemenea *formaldehidă* (la temperatura ambiantă este în stare gazoasă), în special ca soluție apoasă de 37%, denumită formalină. Substanța este bactericidă, fungicidă și sporicidă. Din nefericire, formaldehida este o substanță cancerigenă. Ingerarea sa poate fi fatală, iar expunerea pe termen lung chiar la concentrații scăzute în aer, poate cauza iritarea pielii și probleme de respirație asemănătoare astmului. Trebuie adăogat că artefactele tratate cu formalină pot emite formaldehidă în timp, iar prezența acesteia în aer trebuie evitată.
- Alte substanțe cu potențial sterilizant sunt *glutaraldehida*, *peroxidul de hidrogen* (apa oxigenată), *clorul* și *compuşii clorurați*, *acidul*

peracetic, *iodoforii* (soluții alcătuite dintr-o substanță iodată și un surfactant), *fenolii* și *compușii cuaternari de amoniu*. Utilizările lor sunt limitate, chiar și în condiții strict controlate, pentru că au fost asociate cu boli profesionale severe, cum ar fi astmul.

3.2.4. Anoxia

În prezent muzeele sau atelierile de conservare folosesc plasarea artefactelor atacate de insecte într-o incintă din care s-a îndepărtat oxigenul. Astfel, mediul gazos va conține mai ales azot. Incinta se construiește dintr-o folie de material plastic, pe măsura obiectului de tratat. Insectele, organisme aerobe, mor în lipsa oxigenului. Sunt însă necesare perioade lungi de expunere (uneori săptămâni), cu monitorizarea și întreținerea precisă a conținutului de oxigen foarte scăzut în incinta de tratament (mai puțin de 0,1%). Tratarea artefactelor de volum mare este problematică în acest proces, din nou datorită dificultăților de difuzie a gazului către miezul artefactelor. Metoda anoxiei este ieftină, nepericuloasă pentru artefacte și potrivită pentru intervenții minore, de „întreținere” în muzeu. Fungii și bacteriile anaerobe nu sunt eradicate prin această metodă [3.8].

3.2.5. Curațare uscată/periere

Se crede uneori în mod eronat că o infecție a artefactelor poate fi rezolvată prin îndepărtarea uscată (periere) a mucegaiului vizibil, dacă artefactele sunt stocate ulterior în condiții bune de mediu (de exemplu, la o temperatură de 18°C și umiditate relativă de 45-50%). De fapt, prin periere se îndepărtează doar partea superficială a mucegaiului. Acesta va rămâne prezent în masa artefactului. Umiditatea scăzută va încetini sau stopa creșterea sa, dar procesul de deteriorare poate redeveni activ cu rapiditate la o schimbare a condițiilor de mediu [3.5].

3.3. TEHNICI DE DEZINFECȚIE PRIN IRADIERE

3.3.1. Sterilizare prin iradiere

Efectul biocid al iradierii nu este o noutate. El a fost observat pentru prima oară și chiar folosit pentru tratamentul micozelor la începutul secolului al XX-lea, imediat după descoperirea radioactivității naturale. Dar iradierea pe scară largă, industrială, în scopul sterilizării dispozitivelor medicale este folosită abia de câteva decenii. În prealabil a fost necesară o maturizare a echipamentelor și procedeele de lucru. Utilizarea industrială este în creștere. Sterilizarea prin iradiere este folosită din ce în ce mai frecvent, ca metodă de sterilizare finală (în ambalajul ce ajunge la utilizator), printre altele și pentru că este alternativa recomandată de Farmacopoea Europeană [3.9]. Peste 260 milioane de m³ de produse, sunt sterilizate în fiecare an prin iradiere [3.10]. Trebuie subliniat de fiecare dată, că produsele iradiate, folosind radiații gama sau fascicule de electroni cu energii mai mici de 10 MeV, nu devin radioactive.

Sterilizarea prin iradiere a dispozitivelor medicale este acum un proces industrial bine definit și există un mare număr de cunoștințe despre tratamentul în sine. Relevante sunt următoarele:

- studiile academice concentrate asupra influenței iradierii asupra organismelor vii, sunt atât de numeroase încât au condus la înființarea unui domeniu științific numite radiobiologie;
- din considerente practice au fost dedicate studii intense calificării și testării materialelor expuse la radiații, cu deosebire materiale plastice, polimeri naturali (bumbac), inscripții și adezivi; acestea sunt componente de bază ale dispozitivelor medicale și ale ambalajelor;
- studiile de inginerie au dat naștere mai multor tipuri de echipamente, urmărind optimizarea raportului cost/beneficiu, îmbunătățirea randamentului de producție, a radioprotecției și a fiabilității;
- au fost elaborate ghiduri și standarde privind proiectarea, instalarea și exploatarea în siguranță a echipamentelor, asigurarea și controlul calității tratamentului și a produselor tratate.

3.3.2. Dezinfecția prin iradiere a artefactelor culturale

La sfârșitul anilor 1950, experimentele efectuate de Bletchly care a iradiat insecte xilofagice cu radiații gamma, au probat că efectul biocid al radiațiilor ionizante poate fi folosit pentru a opri biodeteriorarea artefactelor patrimoniului cultural [3.11, 3.12]. Între timp, iradierea tehnologică a devenit o ramură industrială matură implicată în domenii economice vitale (industria medicală, cea electrotehnică sau alimentară). Această situație a crescut încrederea în utilizarea iradierii pentru decontaminarea artefactelor de patrimoniu. În anii 1970 au apărut în Europa două instalații dedicate conservării patrimoniului cultural:

- (a) un iradiator implicat în programul „Nucléart”, inițiat la Grenoble, de către Comisariatul pentru energie atomică a Franței (CEA), în cooperare cu instituțiile culturale din țară (vezi capitolul 26 și istoria sa de succes de peste 40 de ani);
- (b) un iradiator aparținând Muzeului Boemiei Centrale din Roztoky, aflat lângă Praga, Republica Cehă (în acea perioadă Cehoslovacia).

3.4. AVANTAJELE TEHNICILOR CE UTILIZEAZĂ RADIAȚII

Conservarea patrimoniului cultural folosind tehnici cu radiații are avantaje specifice și incontestabile față de procedurile clasice.

Dezinfecția prin iradiere este sigură și inofensivă. Aceste afirmații trebuie susținute și explicate mai detaliat, pentru a contrabalansa suspiciunea publică față de domeniul nuclear în general. Domeniul nuclear este vast. Este o eroare să judecăm armele nucleare cu aceeași măsură cu care judecăm radiografia (care a îmbunătățit enorm diagnosticul medical), radioterapia cu ^{60}Co (una dintre puținele modalități de luptă împotriva cancerului) sau sterilizarea prin iradiere (o metodă care a condus la dispozitive medicale considerabil mai ieftine).

Mai trebuie spus că nu există diferențe notabile între sterilizarea dispozitivelor medicale sau tratamentul alimentelor și decontaminarea artefactelor cu radiații ionizante. În toate cazurile, se utilizează aceleași echipamente de iradiere și aceeași tehnologie. Diferențele sunt minore.

Decontaminarea prin iradiere se efectuează într-un spațiu bine

delimitat de ziduri de protecție, proiectat astfel încât accidentele să fie aproape imposibile și supravegheat permanent. Prin proiectare, o astfel de instalație poate fi utilizată numai în condiții stricte de siguranță pentru personalul ce o deservește, pentru populația neimplicată în activitatea instalației, pentru mediu și pentru produsele tratate.

Această tehnologie nu lasă nici un reziduu în artefactul tratat și nu provoacă daune mediului. Artefactele nu devin radioactive. Prin urmare, nu există nici un risc pentru conservatori/restauratori, muzeografi sau funcționari ai muzeelor, vizitatori ori operatori ai instalațiilor de iradiere și nu există riscuri pentru mediu.

Validarea dozelor recomandate de tratament și evaluarea detaliată a efectelor colaterale iradierii sunt prezentate în Capitolul 7.

Un avantaj important este eficacitatea. Aceasta se bazează pe două fapte:

- a) radiația gamma pătrunde în orice material și este eficientă pe toată adâncimea de penetrare; penetrarea depinde de densitatea materialului;
- b) efectul biocid este controlat de un singur parametru de proces - *doza absorbită*. Aceasta poate fi calculată cu precizie, livrată la o valoare cunoscută, măsurată și certificată. Decontaminarea prin iradiere poate fi descrisă ca un proces care este eficient într-un mod inerent. Nu depinde de materialul tratat. În toate celelalte tehnici de decontaminare, eficacitatea este condiționată de difuzia unui gaz, a unui lichid sau a temperaturii și acestea depind de tipul și structura materialului tratat.

Mai există o consecință practică a penetrării radiațiilor: artefactele pot fi iradiate fără a fi scoase din ambalaj sau din containerul folosit pentru transport.

Un alt avantaj este fiabilitatea tratamentului. Aceasta se bazează pe faptul că eficiența decontaminării depinde numai de doza de iradiere, iar aceasta depinde doar de parametrii măsurabili – geometria de iradiere, densitatea materialului iradiat și activitatea sursei de iradiere.

Compoziția și structura artefactului tratat nu influențează fiabilitatea. Este la fel pentru lemn, hârtie, piele, pergament, textile etc, indiferent de stadiul de degradare a materialului.

Doza poate fi calculată, ceea ce permite proiectarea unui tratament și măsurată cu precizie, ceea ce permite obținerea de dovezi asupra efectuării tratamentului.

Există standarde internaționale, elaborate de Organizația Internațională de Standardizare (ISO), pentru toate sistemele dozimetrice. În plus, instalațiile industriale de iradiere au obligația de a asigura trasa-bilitatea sistemelor dozimetrice la un laborator internațional de referință. Aceasta este o parte esențială a certificării sistemului de management al calității.

Doza poate fi calculată cu exactitate în diferite puncte ale obiectelor mari. Acest lucru face iradierea obiectelor agabaritice, la fel de eficientă ca cea a obiectele mai mici.

Metodă de intervenție curativă, mai degrabă decât metoda preven-tivă, decontaminarea prin iradiere este aplicabilă în situații de urgență. Instalațiile industriale de iradiere tehnologică (concepute pentru sterili-zare sau pentru tratamentul alimentelor) sunt cele mai potrivite în astfel de cazuri. Dezinfecția folosind radiații ionizante durează mult mai puțin timp decât dezinfecția prin metodele clasice.

În ciuda avantajelor menționate, la momentul redactării acestui text, nu există o procedură de bună practică acceptată sau un standard internațional pentru dezinfecția artefactelor de patrimoniu cu ajutorul radiațiilor ionizante. În cadrul AIEA și CEN, discuțiile sunt în curs de desfășurare pe această temă.

BIBLIOGRAFIE LA CAPITOLUL 3

- [3.1] PRICE, L.O., *Managing a Mold Invasion: Guidelines for Disaster Response*, CCAHA Technical Series No. 1, Conservation Center for Art and Historic Artifacts, Philadelphia, PA (1996).
- [3.2] BROKERHOF, A.W., VAN ZANEN, B., DEN TEULING, A., *Fluffy Stuff. Integrated control of mould in archives*. Amsterdam: Netherlands Institute for Cultural Heritage, ICN, Amsterdam (2007).
- [3.3] LIBERT, M., *Les moisissures, un ennemi invincible? Decontamination et prévention*. Brussels, Archives et Bibliothèques de Belgique (2013).
- [3.4] ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, *Methylene Bromide*, <http://www.epa.gov/ods-phaseout/methyl-bromide>
- [3.5] NYBERG, S., *The Invasion of the Giant Spore, Solinet Preservation Program Leaflet No. 5*, Southeastern Library Network, Atlanta, GA (1987).
- [3.6] BLACKMOLD.AWARDSPACE.CO, *Mycotoxins*, <http://blackmold.awardspace.com/mycotoxins.html>
- [3.7] RUTULA, W.A., WEBER, M.J., *Guideline for Disinfection and Sterilization in Healthcare Facilities, 2008*, Centers for Disease Control and Prevention, Atlanta, GA (2008).
- [3.8] SELWITZ, C., MAEKAWA, S., *Inert Gases in the Control of Museum Insect Pests*, Getty Publications, Los Angeles, CA (1998).
- [3.9] COUNCIL OF EUROPE, *European Pharmacopoeia, 8th edn*, Council of Europe, Strasbourg (2014).
- [3.10] GAMMA INDUSTRY PROCESSING ALLIANCE, *Production of Cobalt-60 Sources: GIPA Fact Sheet*, GIPA, Ottawa (2013).
- [3.11] BLETCHLY, J.D. The effect of γ -radiation on some wood-boring insects. *Ann. of Appl. Biol.* **49** (1961) 362-370.
- [3.12] BLETCHLY, J.D. Effects on subsequent generations after γ -irradiation of larvae of *Lyctus brunneus* (Steph.) (Coleoptera, Lyctidae). *Ann. of Appl. Biol.* **50** (1962) 661-667.

Capitolul 4

DIRECȚII ȘI ORIENTĂRI ÎN CONSOLIDAREA MATERIALELOR POROASE

Q.K. TRAN
ARC-Nucléart,
Grenoble, France
Email: quoc-khoi.tran@cea.fr

J.L. BOUTAINE
Centre de recherche et de restauration des musées de France,
Paris, France

4.1 INTRODUCERE

Consolidarea artefactelor poroase reprezintă o a doua aplicație a radiațiilor ionizante în domeniul conservării patrimoniului cultural. Ea a fost o dezvoltare ulterioară a unor studii desfășurate în anii 1960, în care se urmărea îmbunătățirea proprietăților mecanice ale materialelor poroase – cu deosebire lemn și beton [4.1-4.4]. Metoda constă în impregnarea porilor sub vid, cu un polimer nesaturat, fluid, etapă urmată de polimerizare finală prin iradiere, ceea ce produce o întărire a rășinii (eng. radiation curing). Chiar dacă este mai puțin folosită decât dezinfecția prin iradiere, această aplicație este utilă deoarece consolidează complet porțiunile poroase ale artefactului. După ce obiectul a fost impregnat, rășina care umple microporii, inițial fluidă, este polimerizată total – întărită, solidificată, prin iradiere in situ. Rezultă pori complet plini cu rășină. Tehnica se mai numește „densificare” (sau procedeu „Nucléart”). În tehnicile tradiționale, consolidarea se obține prin introducerea în pori a unei rășini total polimerizată, solidă, dizolvată în prealabil într-un solvent. După evaporarea solventului, porii rămân doar căptușiți (nu umpluți) cu o peliculă de rășină.

În aplicarea procedurii Nucléart pentru consolidarea lemnului, rășina utilizată în mod tradițional este un poliester nesaturat, lichid. Viscositatea se reglează cu stiren [4.5-4.7], care funcționează ca solvent, dar și ca reactant pentru a realiza polimerizarea finală.

Proprietățile mecanice ale artefactelor sunt în mod incontestabil mult mai bune după densificare decât după orice altă formă convențională de consolidare. Aspectul obiectului rămâne neschimbat sau cel puțin orice schimbare care apare nu este mai pregnantă decât cele observate la orice alt tip de impregnare. Cu toate acestea, este evident că noul material compozit și noile sale proprietăți fizico-chimice (densitate, rezistență mecanică îmbunătățite etc) au fost obținute prin transformări ireversibile. De aceea, această practică este limitată în mod deliberat la cazuri justificate, în care proprietățile mecanice trebuie să fie puternic îmbunătățite. În cazul lemnului pictat, trebuie să se efectueze teste preliminare pentru a determina dacă există sau nu o interacțiune între rășina lichidă și straturile policrome aflate pe artefact (umflare, dizolvare).

Aplicațiile care se impun de la sine se referă la lemnul arheologic puternic degradat în apă (eng. waterlogged wood; fr. bois gorgé d'eau) și utilizează tehnici complexe de impregnare. Pe lângă consolidarea foarte puternică, tehnica conservă volumul inițial, iar aspectul suprafeței după tratament este, de asemenea, foarte satisfăcător. Dar principalul avantaj este că poate fi folosită ca tratament de stabilizare pentru obiectele compozite ce conțin atât lemn cât și metal, în timp ce tratamentele convenționale de consolidare, ce folosesc polimeri solubili în apă, tind să accelereze coroziunea metalelor.

Primele publicații referitoare la consolidarea artefactelor arheologice din lemn degradat în apă, au fost cele ale lui de Guichen [4.8], care se refereau la fragmente din așezările lacustre din Elveția, Munnikendam [4.9] în Olanda și de cele ale lui Tassigny și Ginier-Gillet [4.10] efectuate la ARC-Nucléart, unde au fost tratate artefacte din secolul XI, extrase din Lacul Paladru lângă Charavines, Franța.

Primele aplicații pe artefacte din lemn uscat realizate la ARC-Nucléart au vizat parchetul din camera principală a Muzeului Stendhal din Grenoble (1970) și statuia Fecioarei de la Flavigny (1970) [4.11].

Un procedeu similar s-a aplicat pentru a îmbunătăți proprietățile lemnului ca material de construcție sau pardoseală. Primul program de cercetare a fost inițiat în 1956, la inițiativa Diviziei de Dezvoltare a Izotopilor din fosta Comisie pentru Energie Atomică a Statelor Unite, sub conducerea directorului diviziei E.E. Fowler. La acest program au mai participat Laboratorul Național Brookhaven, Universitatea din Virginia de Vest și mai multe companii industriale. Programul a fost numit

“Compozite Lemn - Plastic”. Obiectivele inițiale au fost îmbunătățirea unor calități ale lemnului, cum ar fi duritatea, rezistența la compresiune, stabilitatea dimensională, rezistența la abraziune, anduranța, proprietățile de respingere a insectelor, absorbția scăzută a apei și aspectul atractiv. Prima aplicație publică a fost podeaua pavilionului SUA la Expoziția Mondială din New York în 1965. Coordonatorul industrial a fost Laboratorul Aviatic Nuclear din Georgia, iar parchetul a fost realizat din lemn de pin galben (*Pinus rigida*), impregnat cu un monomer – metacrilat de metil (MMA).

Mai recent, în Franța, a fost dedicat un program creșterii valorii speciilor lemnoase, precum fagul (*Fagus*), carpenul (*Carpinus*), mesteacănul (*Betula*), plopul (*Populus*) și frasinul (*Fraxinus*), care au o valoare comercială scăzută, dar sunt comune în pădurile din vestul Europei. A fost posibilă astfel producerea de parchet de înaltă calitate, care să poată concura cu pardoseli din stejar sau specii tropicale, utilizate în locuri cu trafic pietonal intens. Unele muzee din Franța, precum Musée de la Musique, Musée National d’Histoire Naturelle și Musée de la Poste, dar și Aeroportul Seoul Incheon din Korea, au fost echipate cu astfel de parchet dens (prin transferul de tehnologie de la CEA la Huot Parquet Company) în anii 1990.

BIBLIOGRAFIE LA CAPITOLUL 4

- [4.1] KENT, J., WINSTON, A., BOYLE, W., et al., Preparation of Wood-plastic Combinations Using Gamma Radiation to Induce Polymerization: Effects of Gamma Radiation on Wood, Rep. No. ORO 600, West Virginia University, Morgantown, WV (1963).
- [4.2] KENT, J., WINSTON, A., BOYLE, W., et al., Preparation of Wood-plastic Combinations Using Gamma Radiation to Induce Polymerization: Effects of Gamma Radiation on Wood, Rep. No. ORO 612, West Virginia University, Morgantown, WV (1963).
- [4.3] KENT, J., WINSTON, A., BOYLE, W., et al., Preparation of Wood-plastic Combinations Using Gamma Radiation to Induce Polymerization: Effects of Gamma Radiation on Wood, Rep. No. ORO 628, West Virginia University, Morgantown, WV (1965).
- [4.4] KENT, J., WINSTON, A., BOYLE, W., et al., Preparation of Wood-plastic Combinations Using Gamma Radiation to Induce Polymerization: Effects of Gamma Radiation on Wood, Rep. No. ORO 2945-2947, West Virginia University, Morgantown, WV (1967).

- [4.5] DETANGER, B., RAMIERE, R., TASSIGNY, C. de, EYMERY, R., NADAILLAC, L. de, "Application des techniques de polymerisation au traitement des objets en bois", Proc. Congresso internazionale : Applicazione dei metodi nucleari nel campo delle opere d'arte Roma-Venezia, 1973, Accademia nazionale dei Lincei, Roma (1976) 661.
- [4.6] CORNUET, R., RAMIERE, R., TASSIGNY, C. de, Application des Techniques Nucléaires à la Conservation des Œuvres d'Art, Bureau Eurisotop, Bruxelles (1975).
- [4.7] BROUQUI, M., CORNUET, R., TASSIGNY, C. de, Traitement par rayonnements gamma, de la momie de Ramses II, Rev. Gén. Nucl. **1** (1978) 10.
- [4.8] GUICHEN, G. de, Méthode de conservation des bois provenant des cités lacustres par diffusion d'un monomère et polymérisation par rayonnement gamma, Thesis, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne (1966).
- [4.9] MUNNIKENDAM, R., Conservation of waterlogged wood using radiation polymerization, Stud. Conserv. **12** 2 (1967) 70-75.
- [4.10] TASSIGNY, C. de, GINIER-GILLET, A., La methode par impregnation et irradiation gamma, Sonderdruck aus Zeitschrift für Schweizerische Archäologie und Kunstgeschichte **36** 2 (1979) 138-141.
- [4.11] EYMERY, R., NADAILLAC, L. de, "Utilisation du rayonnement gamma pour la conservation des objets en bois", CEA, Saclay (1972).

Capitolul 5

ASPECTE FUNDAMENTALE ALE IRADIERII TEHNOLOGICE

P. VASQUEZ

Nuclear and Energy Research Institute - IPEN/CNEN,
Sao Paulo, Brazil

Email: pavsalva@usp.br

5.1. INTRODUCERE

Radiațiile ionizante utilizate în procesele industriale sunt unde electromagnetice cum ar fi radiațiile gamma și radiațiile X, sau particule cu sarcină electrică, cum ar fi electronii accelerați. În timpul procesului de iradiere, undele electromagnetice, radiațiile gamma de exemplu, pot interacționa cu materia (cu orice material) în mod competitiv, prin unul din următoarele cinci procese: (i) efect fotoelectric; (ii) împrăștiere Compton; (iii) generare de perechi (electron și pozitron); (iv) împrăștiere coerentă; (v) reacții fotonucleare. Importanța relativă a fiecărui tip de interacțiune depinde de energia radiației gamma și de numărul atomic (Z) al materialului cu care interacționează (material absorbant al energiei). Împrăștierea coerentă apare dacă fotonii au energie scăzută ($<0,1$ MeV), iar reacțiile fotonucleare sunt posibile doar la interacțiunea cu fotoni a căror energie este în domeniul 2-8 MeV pentru materialele cu Z mic și în domeniul 7-20 MeV pentru materialele cu Z mare. Astfel, pentru radiațiile gamma emise de o sursă de ^{60}Co (energie maximă de 1,33 MeV), numai primele trei căi de interacțiune sunt posibile. Prin aceste interacțiuni se transferă energia de la radiația electromagnetică către produsul iradiat [5.1]. Pe de altă parte, electronii accelerați interacționează cu materia prin patru procese concurente: (i) emisia de radiație bremsstrahlung, (ii) ciocnire inelastică, (iii) ciocnire elastică și (iv) emisie Cerenkov. Importanța relativă a acestor procese depinde în mare parte de energia electronilor și într-o mai mică măsură de natura materialului absorbant. În orice caz, transferul de energie de la radiații electromagnetice sau de la electroni accelerați, către materialul iradiat, are ca rezultat ruperea unor legături chimice și conduce la formarea de radicali liberi sau de specii chimice excitate în produs.

Efectul chimic produs în materialul supus iradierii depinde de compoziția sa chimică, mai precis, de tipul de legături chimice prezente în material. Legăturile metalice și ionice, nu sunt afectate, în general, în timp ce legăturile covalente prezente în mod obișnuit în organismele vii și în materialele organice, pot fi puternic afectate de radiații; acest proces trebuie să fie bine înțeles. În cazul obiectelor de patrimoniu cultural, materialul de constituție poate fi lemn, hârtie sau orice alt material organic natural sau sintetic. Consecințele ruperii legăturilor chimice în aceste materiale în urma iradierii artefactelor patrimoniului cultural, se numesc efecte secundare sau colaterale iradierii și vor fi discutate în capitolele ce urmează.

5.2. DOZA ABSORBITĂ ȘI DEBITUL DOZEI ABSORBITE

Pentru a cuantifica modificările fizice, chimice sau biologice produse de radiațiile ionizante în artefactele de patrimoniu cultural, este necesară cunoașterea cantității de energie absorbită pe unitate de masă și viteza de depunere a energiei absorbite în materialul absorbant. Aceste mărimi sunt definite după cum urmează.

Doza absorbită: Doza absorbită este cantitatea de energie absorbită pe unitatea de masă a materialului iradiat. Comisia Internațională de Unități și Măsurători Radiologice (ICRU) a definit doza absorbită (D) ca fiind „energia medie, $\bar{\varepsilon}$, transferată de radiația ionizantă materiei dintr-un element de volum, împărțită la masa, dm , a acelu element de volum” [5.2]:

$$D = \frac{d\bar{\varepsilon}}{dm} \quad (5.1)$$

Unitatea SI a dozei absorbite se numește gray (Gy), $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$.

Debitul dozei absorbite: Debitul dozei absorbite este doza absorbită per unitate de timp. Unitatea SI a debitului dozei este Gy/s.

În practică, nu este posibilă o măsurătoare într-un volum foarte mic al materialului, așa că D este măsurabilă doar ca o valoare medie într-un volum mai mare decât cel specificat în definiție. Apoi, doza absorbită este considerată valoarea medie, fie cea măsurată în volumul sensibil al dozimetrului utilizat, dacă acesta este relativ mare, fie cea din vecinătatea

sa imediată, dacă dozimetrul este foarte mic și poate fi aplicabilă teoria cavității [5.2]. Pentru orice condiții de iradiere date, este necesar să se precizeze doza absorbită în materialul special de interes, deoarece diferite materiale (cum ar fi lemn, hârtie sau orice material organic sau artificial) au absorbție diferită a radiației.

5.3. DOZIMETRIE

Succesul iradierii tehnologice a obiectelor de patrimoniu cultural, ca și a oricărui alt tip de produs, depinde în principal de capacitatea de a iradia obiectele cu o doză absorbită specificată și de a valida acea doză prin măsurători precise și fiabile. Procesul implică determinarea distribuției dozei în pachetul cu produse, prin *proceduri de calificare a procesului* și controlul iradierii de rutină, prin *procedurile de control al procesului* [5.3, 5.4].

Procesarea prin iradiere a produselor de patrimoniu cultural implică utilizarea unor surse de radiații intense, acceleratoare de electroni (EB) de mare putere, generatoare de raze X sau iradiatoare cu surse izotopice închise de ^{60}Co sau ^{137}Cs . La iradierea artefactelor cu electroni accelerați sau cu raze X se folosesc fascicule monodirecționale cu baleiaj, în timp ce la iradierea cu radionuclizi, radiația gamma este emisă de surse cilindrice sau plăci dreptunghiulare. În funcție de aplicația specifică, intervalul aproximativ de doză absorbită utilizat în procesarea obiectelor culturale variază de la 0,5 la 25 kGy. Sistemele dozimetrice utilizate în prezent atât în cercetare, cât și în aplicațiile curente ale iradierii tehnologice, cum ar fi modificarea polimerilor, sterilizarea produselor medicale sau dezinfectia produselor alimentare, sunt disponibile pentru măsurarea cu precizie a dozei absorbită în obiectele de patrimoniu cultural [5.5-5.9]. Aceste sisteme dozimetrice se bazează pe modificări fizice sau chimice bine stabilite, induse în dozimetre prin iradiere, ce sunt măsurate cu instrumente calibrate, astfel încât rezultatele sunt și exacte și reproductibile. În aplicațiile iradierii tehnologice se utilizează în mod regulat proceduri standard dezvoltate de ASTM și recunoscute de ISO [5.10]. Această secțiune descrie pe scurt caracteristicile de bază și domeniile de aplicare ale acestor sisteme dozimetrice.

Sistemele dozimetrice sunt clasificate și definite conform ISO/ASTM 51261: 2013 după cum urmează [5.11]:

- (a) Sistem dozimetric primar: „sistem dozimetric conceput sau recunoscut ca având cele mai înalte calități metrologice, iar valorile pe care le produce sunt acceptate fără trasabilitate la alte sisteme”;
- (b) Sistem dozimetric de referință: „sistem dozimetric cu cea mai mare calitate metrologică disponibilă într-o anumită locație sau în organizația în care se efectuează măsurătorile”;
- (c) Sistem dozimetric de rutină/de lucru: „sistem dozimetric etalonat față de un sistem dozimetric de referință și utilizat pentru măsurători de rutină a dozei în cartografierea unei zone și în monitorizarea proceselor”;
- (d) Sistem dozimetric de transfer: „sistem dozimetric utilizat ca intermediar pentru calibrarea altor sisteme dozimetrice”.

Calorimetrele și camerele de ionizare sunt două dintre principalele tipuri de dozimetre primare [5.10, 5.12, 5.13]. Acest sisteme dozimetrice sunt în general menținute și operate de laboratoare naționale de standardizare și sunt folosite pentru a furniza standardul de bază utilizat în fiecare țară.

Dozimetrele de referință utilizate în mod obișnuit includ dozimetrul Fricke [5.14, 5.15], ceric/ceros [5.16], dicromat [5.17], etanol-clorbenzen (ECB) [5.18] și dozimetrul cu alanină [5.19-5.23].

Dozimetrele de rutină utilizate în mod curent în instalațiile de iradiere tehnologică pentru cartografierea dozei, monitorizarea procesului și asigurarea controlului calității, includ polimetil-metacrilatul (PMMA) [5.24-5.28], soluția și filmul radiochromic [5.29-5.37], film de triacetat de celuloză (CTA) [5.38], dozimetrul ceric/ceros [5.16] și dozimetrul ECB [5.18].

Dozimetrele de transfer sunt utilizate pentru transferul informațiilor privind dozele, de la un laborator de standardizare acreditat sau național, la o unitate de iradiere, pentru a stabili trasabilitatea la acel laborator standard. Acestea sunt, în mod normal, dozimetre de referință ce au caracteristici care îndeplinesc cerințele unei aplicații particulare. Informații despre diferite tipuri de dozimetre sunt prezentate în Tabelul 5.1.

TABLE 5.1. DOZIMETRE PRIMARE, DE REFERINȚĂ, RUTINĂ ȘI TRANSFER

Tip	Calibrare	Incertitudine (k=1)	Exemple
Primar	Nu	1%	Calorimetru, cameră de ionizare
Referință	Da	2-3%	Alanină, ceric-ceros, dicromat, ECB, Fricke
Rutină	Da	5%	Ceric-ceros, CTA, ECB, PMMA, film radiocromic
Transfer	Da	3-5%	Alanină, ceric-ceros, dicromat, ECB, Fricke

5.4. DOZIMETRIA DE RUTINĂ ÎN PRODUCȚIE

Deoarece dozimetria este elementul cheie în asigurarea eficacității și siguranței procesului de tratament cu radiații, utilizarea unor dozimetre de rutină fiabile (trasabile la standardele naționale sau internaționale) este o măsură esențială în controlul procesului de iradiere. Pentru ca operatorul instalației să certifice doza aplicată produselor, un element-cheie este dozimetria de rutină a tuturor ciclurilor de producție, așa cum este specificat în standardele ISO/ASTM 51702 [5.39] și ISO/ASTM 51431 [5.40]. Pe acest mecanism se bazează autoritățile de certificare din întreaga lume, pentru a se asigura că produsele au fost tratate în conformitate cu standardele internaționale. Tabelul 5.2 prezintă o listă a dozimetrelor utilizate în mod obișnuit în instalațiile de iradiere. Informații detaliate privind dezvoltarea, validarea și controlul de rutină al proceselor industriale de iradiere pot fi găsite în Ref. [5.41].

TABEL 5.2. SISTEME DOZIMETRICE DE RUTINĂ

Dozimetru	Instrument de măsură	Domeniul de doze (Gy)
Alanină	Spectrometru EPR (RES)	1–10 ⁵
Amino acizi	Cititor de lioluminescență	10 ⁻⁵ –10 ⁴
Acetat de celuloză	Spectrofotometru	10 ⁴ – 4×10 ⁵
Sulfat ceric-ceros (soluție)	Potențiomtru sau Spectrofotometru în UV	10 ³ –10 ⁵
Poli-metil metacrilat pur (PMMA)	Spectrofotometru în UV	10 ³ –10 ⁵
Poli-metil metacrilat colorat (PMMA)	Spectrofotometru în vizibil	10 ² –10 ⁵
Etanol clor benzen (ECB soluție)	Spectrofotometru, titrare, conductivimetru de înaltă frecvență	10 – 2×10 ⁶
Sulfat feric-feros (soluție/Fricke)	Spectrofotometru în UV	10 ³ – 5×10 ³
Borat de litiu, fluorură de litiu	Cititor de termoluminescență	10 ⁴ –10 ³
Fluorură de litiu (puritate optică)	Spectrofotometru în UV/ vizibil	10 ² –10 ⁶
Materiale plastic polimerice (centru M)	Cititor de fluorescență	50– 5×10 ⁵
Film, soluție, ghid de undă optic de natură radiocromică	Spectrofotometru în vizibil	1–10 ⁵

BIBLIOGRAFIE LA CAPITOLUL 5

- [5.1] ATTIX, F.H., *Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry*, Wiley, New York (1986).
- [5.2] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, *Fundamental Quantities and Units for Ionizing Radiation*, Rep. 60, ICRU, Washington, DC (1998).
- [5.3] McLAUGHLIN, W.L., BOYD, A.W., CHADWICK, K.H., McDONALD, J.C., MILLER, A., *Dosimetry for Radiation Processing*, Taylor and Francis, London and New York (1989).
- [5.4] McLAUGHLIN, W.L., HJORTENBERG, P.E., RADAK, B.B., "Absorbed-dose measurements in thin films", *Dosimetry in Agriculture, Industry, Biology and Medicine*, IAEA, Vienna (1973) 577–597.
- [5.5] MURANO, E.A. (Ed.), *Food Irradiation: A Sourcebook*, Iowa State University Press, Ames, IA (1995).
- [5.6] SATIN, M., *Food Irradiation: A Guidebook*, Technomic, Lancaster, PA (1996).
- [5.7] DIEHL, J.F., *Safety of Irradiated Foods*, Marcel Dekker, New York (1995).
- [5.8] WORLD HEALTH ORGANIZATION, *Food Irradiation: A Technique for Preserving and Improving the Safety of Food*, WHO, Geneva (1991).
- [5.9] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Training Manual on Operation of Food Irradiation Facilities*, International Consultative Group on Food Irradiation, ICGFI Document No. 14, ICGFI, IAEA, Vienna (1992).
- [5.10] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Dosimetry for Food Irradiation*, Technical Report Series No. 409, IAEA, Vienna (2002)
- [5.11] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, *Standard Guide for Selection and Calibration of Dosimetry Systems for Radiation Processing*, ISO/ASTM 51261:2013, ISO, Geneva (2013).
- [5.12] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, *Practice for Use of Calorimetric Dosimetry Systems for Electron Beam Dose Measurements and Dosimeter Calibrations*, ISO/ASTM 51631:2013, ISO, Geneva (2013).
- [5.13] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Absorbed Dose Determination in Photon and Electron Beams: An International Code of Practice*, 2nd edn, Technical Reports Series No. 277, IAEA, Vienna (1997).
- [5.14] FRICKE, H., HART, E.J., "Chemical dosimetry", *Radiation Dosimetry*, Vol. 2 (ATTIX, F.H., ROESCH, W.C., Eds), Academic Press, New York (1966)
- [5.15] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, *Practice for Using the Fricke Dosimetry System*, ASTM 51026, ASTM International, West Conshohocken, PA (2015).
- [5.16] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, *Standard Practice for Use of the Ceric-Cerous Sulphate Dosimetry System*, ISO/ASTM51205:2009, ISO, Geneva (2009).

- [5.17] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Practice for Use of a Dichromate Dosimetry System, ISO/ASTM 51401:2003, ISO, Geneva (2003).
- [5.18] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Practice for Use of the Ethanol-Chlorobenzene Dosimetry System, ISO/ASTM 51538:2009, ISO, Geneva (2009).
- [5.19] REGULLA, D.E., DEFFNER, W., “Progress in alanine/ESR Transfer Dosimetry”, -Dose Dosimetry (Proc. Symp. Vienna, 1984), IAEA, Vienna (1985) 221–235.
- [5.20] SLEPTCHONOK, O.F., NAGY, V., DESROSIERS, M.F., “Advancements in accuracy of the alanine dosimetry system. Part 1. The effects of environmental humidity”, *Radiat. Phys. Chem.* **57** (2000) 115–133.
- [5.21] NAGY, V., PUHL, J.M., DESROSIERS, M.F., “Advancements in accuracy of the alanine dosimetry system. Part 2. The influence of the irradiation temperature”, *Radiat. Phys. Chem.* **57** (2000) 1–9.
- [5.22] REGULLA, D.F., DEFFNER, U., “Dosimetry by ESR spectroscopy of alanine”, *Int. J. Appl. Radiat. Isot.* **33** (1982) 1101–1114.
- [5.23] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Practice for Use of the Alanine-EPR Dosimetry System, ISO/ASTM Standard 51607:2013, ISO, Geneva (2013).
- [5.24] CHADWICK, K.H., “The choice of measurement wavelength for clear HX-Perspex dosimetry”, *Dosimetry in Agriculture, Industry, Biology and Medicine* (Proc. Symp. Vienna, 1972), IAEA, Vienna (1973) 563–576.
- [5.25] LEVINE, H., McLAUGHLIN, W.L., MILLER, A., Temperature and humidity effects on the gamma-ray response and stability of plastic and dyed plastic dosimeters, *Radiat. Phys. Chem.* **14** (1979) 551–574.
- [5.26] CHADWICK, K.H., RINTJEMA, D., TEN BROEKE, W.R.R., “The accuracy of the calibration curve of the clear Perspex dose meter”, *Food Preservation by Irradiation*, Vol. 2, IAEA, Vienna (1978).
- [5.27] ORTON, C.G., “The clear PMMA dosimeter”, *Manual on Radiation Dosimetry* (HOLM N.W., BERRY, R.J., Eds), Marcel Dekker, NY (1970) 357–361.
- [5.28] ASTM INTERNATIONAL, Standard Practice for Use of a Polymethylmethacrylate Dosimetry System, ISO/ASTM 51276:2012, ASTM, Conshohocken, PA (2012).
- [5.29] McLAUGHLIN, W.L., “Radiochromic dye-cyanide dosimeters”, *Manual on Radiation Dosimetry* (HOLM, N.W., BERRY, R.J., Eds), Marcel Dekker, New York (1970) 377–385.
- [5.30] McLAUGHLIN, W.L., HUMPHREYS, J.C., HOCKEN, D., CHAPPAS, W.J., Radiochromic dosimetry for validation and commissioning of industrial radiation processing, *Radiat. Phys. Chem.* **31** (1988) 505–514.
- [5.31] McLAUGHLIN, W.L., “Standardization of high-dose measurement of electron and gamma ray absorbed doses and dose rates”, *High-Dose Dosimetry* (Proc. Symp. Vienna 1984), IAEA, Vienna (1985) 357–371.

- [5.32] McLAUGHLIN, W.L., KOSANIC, M., The gamma-ray response of pararosaniline cyanide dosimeter solutions, *Int. J. Radiat. Isot.* **25** (1974) 249.
- [5.33] McLAUGHLIN, W.L., MILLER, A., FIDAN, S., PEJTERSEN, K., BATSBERG PEDERSEN, W., Radiochromic plastic films for accurate measurement of radiation absorbed dose and dose distributions, *Radiat. Phys. Chem.* **10** (1977) 119–127.
- [5.34] JANOVSKY, I., MEHTA, K., The effects of humidity on the response of radiochromic film dosimeters FWT-60-00 and GafChromic-DM-1260, *Radiat. Phys. Chem.* **43** (1994) 407–409.
- [5.35] NINGNOI, T., EHLERMANN, D.A.E., Effects of temperature and humidity during irradiation on the response of radiochromic film dosimeters, *Radiat. Phys. Chem.* **43** (1994) 569–572.
- [5.36] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Practice for Use of a Radiochromic Film Dosimetry System, ISO/ASTM 51275:2013, ISO, Geneva (2013).
- [5.37] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, Standard Practice for Use of a Radiochromic Liquid Dosimetry System, ASTM 51540-04(2012), ASTM International, West Conshohocken, PA (2012).
- [5.38] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ASTM, Standard Practice for Use of Cellulose Acetate Dosimetry Systems, ISO/ASTM 51650:2013, ISO, Geneva (2013).
- [5.39] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ASTM, Standard Practice for Dosimetry in a Gamma Facility for Radiation Processing, ISO/ASTM 51702:2013, ISO, Geneva (2013).
- [5.40] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ASTM, Standard Practice for Dosimetry in Electron Beam and X-Ray (Bremsstrahlung) Irradiation, ISO/ASTM 51431:2005, ISO, Geneva (2005).
- [5.41] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Guidelines for the Development, Validation and Routine Control of Industrial Radiation Processes, IAEA Radiation Technology Series No.4, Vienna (2013).

Capitolul 6

SURSE ȘI INSTALAȚII PENTRU IRADIERI TEHNOLOGICE

P. VASQUEZ

Nuclear and Energy Research Institute – IPEN/CNEN,
Sao Paulo, Brazil

Email: pavsalva@usp.br

6.1. INTRODUCERE

Instalațiile de iradiere utilizate în aplicațiile obișnuite ale iradierii tehnologice și care pot fi folosite și pentru iradierea obiectelor de patrimoniu cultural pot fi împărțite în două categorii [6.1]:

- (a) instalații de iradiere cu radiații gama, care utilizează surse închise ce conțin radioizotopi, precum ^{60}Co sau ^{137}Cs ;
- (b) instalații care utilizează generatoare de radiații, cum ar fi acceleratoarele de electroni cu energii de până la 10MeV (EB – prescurtare de la eng. Electron Beam) și generatoare de raze X cu energii de până la 5 MeV.

Radiațiile gamma și radiațiile X au o capacitate de penetrare mai mare, ceea ce permite tratarea unor produse relativ groase sau dense, în timp ce acceleratoarele EB sunt adecvate pentru iradierea materialelor subțiri, în cantități mari, oferind o viteză mare de tratament la un cost mai mic pe unitate de produs. Livrarea uniformă a dozei de radiații este un parametru critic în aplicațiile iradierii tehnologice, inclusiv în dezinfecția sau consolidarea artefactelor patrimoniului cultural. Acest lucru necesită metodologii adecvate de tratare și folosirea unor iradiatoare gamma industriale de mari dimensiuni, sau a unor instalații EB care pot asigura câmpuri uniforme de radiație. Dispozitivele de radioterapie medicală, precum și echipamentele pentru radiografia medicală sau industrială, prin urmare, nu sunt adecvate pentru tratarea obiectelor culturale, deoarece câmpurile de radiații din astfel de surse sunt neuniforme și dozele oferite nu sunt suficient de mari [6.2].

6.2. INSTALAȚII PENTRU IRADIERI TEHNOLOGICE CU SURSE GAMMA

În centrul oricărei instalații gamma pentru iradiere tehnologică este o sursă care emite radiații gamma de mare putere. Radiațiile gamma folosite în iradiere tehnologică, inclusiv în conservarea obiectelor de patrimoniu cultural, sunt obținute în majoritatea cazurilor din surse închise de ^{60}Co [6.3]. Radioizotopul Cobalt-60 emite simultan doi fotoni (raze gamma) per dezintegrare cu energii de 1,17 și 1,33 MeV. În instalațiile industriale, activitatea instalată este în intervalul $10^3 - 10^5$ TBq ($10^4 - 10^7$ Ci).

Pe lângă sursa de radiații, alte componente esențiale ale unei astfel de instalații sunt:

- o cameră ecranată numită cameră de iradiere, care găzduiește sursa de radiații;
- un mecanism de ridicare a surselor din piscina în care stau când nu sunt folosite;
- ecranare adecvată pentru radiații care înconjoară camera de iradiere;
- camera de comandă și control;
- un sistem de introducere și de scoatere a produselor în/din camera de iradiere;
- containere în care se plasează produsele în timpul iradierii;
- un sistem de control și interblocări, pentru funcționarea în siguranță a instalației;
- zona de depozitare a produselor și de încărcare/descărcare în/din containere.

Figura 6.1 prezintă o instalație tipică de iradiere industrială în care procesul de iradiere are loc într-o cameră mare. Ansamblul sursă este o placă care se deplasează vertical printr-un mecanism de ridicare, între o poziție ecranată, în interiorul unei piscine cu apă și poziția de iradiere, în aer, la nivelul camerei. Acest tip de iradiatoare pot fi operate discontinuu, în sistem șarjă sau continuu. Produsele pot fi deplasate în camera de iradiere, fie în timp ce sursa este în piscină, complet ecranată (funcționarea în sistem șarjă), fie în timp ce sursa se găsește în aer, în poziție de iradiere (funcționarea continuă). Iradierea uniformă a containerelor cu produse se realizează fie prin rotirea produsului în jurul axei proprii în timpul iradierii (adecvată pentru funcționarea discontinuă), fie prin deplasarea produsului în jurul sursei de radiații (mai potrivită pentru funcționarea continuă, dar

utilizată și în iradiatoare ce funcționează doar în sistem șarjă).

În funcție de designul iradiatorului, recipientele cu produse se mișcă în jurul sursei, fie plasate pe șine, fie agățate de o pistă de pe tavan. Mișcarea se face în mai multe etape (până la 8) și la diferite nivele. Obiectivele principale (la care trebuie să răspundă proiectul) sunt să se folosească cât mai multă energie din ce produce sursa de iradiere, iar produsul să absoarbă o doză cât mai uniformă. Acest tip de instalație este foarte potrivit pentru tratarea artefactelor de patrimoniu cultural de orice dimensiune, dacă acestea pot fi aduse în camera de iradiere.

Iradiatoarele gamma au fost utilizate comercial pentru iradierii tehnologice încă din anii 1960. Astăzi există peste 160 de iradiatoare comerciale cu ^{60}Co pentru aplicații cum ar fi sterilizarea dispozitivelor medicale și tratarea alimentelor, în multe țări din întreaga lume. Unele instalații de iradiere sunt folosite în centre de cercetare-dezvoltare. Atunci când se iau în considerare toate utilizările, există în total peste 200 de iradiatoare gamma funcționale în diferite țări, pentru diverse scopuri [6.4]. În 2004, AIEA a elaborat și publicat un catalog al instalațiilor de iradiere gamma prezente în statele membre. Se descriu aici detaliile locațiilor, distribuția geografică și procedurile de asigurare a calității în multe dintre aceste instalații [6.5].

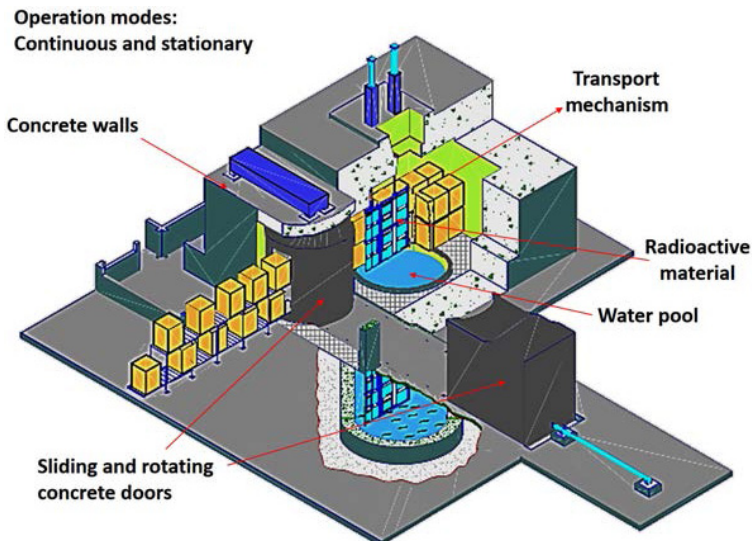


FIG. 6.1. O instalație tipică de iradiere gamma cu piscină (prin amabilitatea MDS Nordion, Canada)

6.3. INSTALAȚII PENTRU IRADIERI TEHNOLOGICE CU ACCELERATORI

Acceleratorii de electroni (EB) au doi parametri funcționali importanți: energia fasciculului și curentul fasciculului. Energia fasciculului determină până la ce adâncime poate penetra fasciculul, în timp ce curentul fasciculului, proporțional cu puterea acceleratorului, controlează productivitatea obținută. Acceleratorii EB utilizați în iradierea tehnologică posedă o energie a fasciculului în intervalul 0,1 - 10 MeV. Limita superioară de energie de 10 MeV pentru aplicațiile EB a fost stabilită pentru a evita inducerea radioactivității în produsele iradiate prin reacții fotonucleare. Principala caracteristică care diferențiază acceleratoarele EB industriale de echipamentele utilizate în scopuri de cercetare, este curentul fasciculului. În timp ce acceleratoarele industriale au curenți de fascicul de zeci de miliamperi (peste 10 mA), echipamentele de cercetare, cum ar fi acceleratoarele Van de Graaff, Pelletrons și multe acceleratoare liniare (linac), operează cu microamperi, curenți cu câteva ordine de mărime inferioari celor obținuți în echipamentele industriale. În industrie este nevoie de curenți mari de fascicul deoarece productivitatea este proporțională cu curentul de fascicul.

Un accelerator EB are de obicei următoarele subsisteme:

- sursa de electroni, care este un catod încălzit ce emite electroni;
- dispozitivul de focalizare; electronii sunt focalizați într-un fascicol cu un electrod de extracție;
- unitatea de accelerare; electronii sunt accelerați în vid, cu un câmp electric puternic;
- fereastra de extracție; electronii trec în aer printr-o fereastră subțire de titan.

Electronii sunt produși prin emisie de electroni termici într-un dispozitiv electric numit „tun de electroni”. Electronii emiși sunt focalizați și accelerați în vid prin diferite mecanisme, până ating energia finală dorită. Acești electroni accelerați de energie înaltă traversează apoi o fereastră subțire, rezistentă mecanic și lovesc obiectele de iradiat. Acceleratoarele produc fascicole fie pulsate, fie continue. Electronii sunt emiși de acceleratori în limite de energie destul de înguste (de regulă, în limita a $\pm 10\%$ din energia nominală). Energia electronilor care țintesc produsul, este

suplimentar controlată de magnetii de deflexie ai sistemului de manipulare a fasciculului, dacă e cazul.

Acceleratorii EB utilizați pentru iradiere tehnologică sunt clasificați după energia electronilor, în acceleratori de energie joasă, medie sau înaltă [6.6, 6.7].

Acceleratori de energie joasă

Acceleratorii din această categorie produc electroni cu energie de la 100 keV la 700 keV. Acest tip de echipament are un baleiaj al fasciculului de la ~0,5 m până la ~1,8 m. Acceleratorii de joasă energie sunt în general auto-ecranați. Aplicațiile lor se regăsesc în domenii cum ar fi întărirea peliculelor subțiri și a laminatelor, producția de filme antistatice și anti-fog, precum și acoperirea cu polimeri a suprafețelor din lemn. Penetrarea maximă este de până la 60 mg/cm².

Acceleratori de energie medie

În această categorie intră acceleratori cu energie între 1MeV și 5MeV și cu fascicole baleiate. Echipamentele sunt disponibile cu un baleiaj al fasciculului de la 0,5m până la 1,8m. Puterea fasciculului variază de la 25kW la 700kW. Datorită unei penetrabilități convenabile, acești acceleratori sunt cei mai folosiți în iradierea tehnologică industrială, într-o gamă largă de aplicații: reticularea materialelor polimerice cu secțiuni transversale mai groase, modificarea reologiei polimerilor, modificarea culorii pietrelor prețioase, sterilizarea produselor medicale și iradierea alimentelor (într-o măsură limitată). Grosimile tipice de penetrare în materiale cu densitate unitară sunt cuprinse între 5mm și 25mm.

Acceleratori de energie înaltă

Acceleratorii ce produc electroni cu energie cuprinsă între 5MeV și 10 MeV asigură cea mai mare adâncime de penetrare și sunt cei mai potriviți pentru iradierea în vrac a produselor. Sunt disponibile echipamente cu nivele de putere de la 25kW la 350kW și cu baleiaj al fasciculului până la 1,8m. Cu adâncimea de penetrare a electronilor de 10MeV, de 50cm, la o densitate a produsului de 0,15g/cm³, (iradiere din ambele părți), această categorie de acceleratori este frecvent utilizată pentru aplicații cum ar fi sterilizarea produselor medicale, reticularea materialelor polimerice cu secțiuni transversale groase, dezinfectie, tratarea apelor reziduale, modificarea reologiei polimerilor, modificarea culorii pietrelor prețioase și extinderea duratei de viață pe raft a produselor alimentare și a fructelor.

Ca și instalațiile gamma pentru iradiere tehnologică, cele cu acceleratori EB de energie medie și mare, constau din următoarele:

- ecranare la radiații adecvată, ce înconjoară camera de iradiere;
- camera de comandă și control;
- un sistem de introducere și de scoatere a produselor în/din camera de iradiere;
- containere în care se plasează produsele în timpul iradierii;
- un sistem de control și interblocări, pentru funcționarea în siguranță a instalației;
- zona de depozitare a produselor și de încărcare/descărcare în/din containere.



FIG. 6.2. Schița unei instalații tipice cu accelerator EB (prin amabilitatea IBA, Belgia)

Camera de tratament găzduiește acceleratorul în sine și este construită din beton gros pentru a proteja lucrătorii de radiații. În camera de tratare, materialele trec prin fascicolul acceleratorului pentru a fi procesate. După iradiere, materialele își continuă traseul până când ies din camera de iradiere. În camera de iradiere se află echipamentele electrice, electronice și de răcire. Procesarea cu EB este extrem de rapidă, cu un debit al dozei de iradiere ridicat, cu avantaje economice și compatibilă cu o gamă mai largă de materiale [6.8, 6.9].

La dezinfecția artefactelor de patrimoniu cultural, sunt necesare acceleratoare EB de înaltă energie care să penetreze produsul și ambalajul.

La evaluarea iradierii EB în scopul sterilizării, se ia în considerare densitatea, mărimea și orientarea produsului în ambalaj. În general, iradierea EB este potrivită pentru iradierea produselor cu densitate scăzută și uniform ambalate. Merită subliniat faptul că tratamentul cu EB durează doar câteva secunde și poate fi soluția potrivită pentru dezinfectia sau sterilizarea obiectelor de patrimoniu cultural de mici dimensiuni, în special cărți și materiale papetare.

Un sondaj de piață foarte reținut indică că în prezent se folosesc în scopuri comerciale, 1400 de echipamente EB de mare putere. AIEA a publicat în 2008 un catalog al instalațiilor de iradiere cu electroni aflate în statele membre [6.10].

6.4 INSTALAȚII PENTRU IRADIERI TEHNOLOGICE CU RAZE X

Echipamentele de iradiere tehnologică cu raze X se bazează pe conversia electronilor de mare energie, în raze X. În astfel de mașini, fascicolul de electroni produși în acceleratoarele EB, lovește o țintă numită convertor de raze X, realizată dintr-un material cu proprietăți refractare și cu număr atomic ridicat, cum ar fi tungsten sau tantal [6.11, 6.12]. Rezultatul acestei conversii este emisia unor fotoni – razele X caracteristice țintei, combinate cu fotonii de brehmstrahlung, ce au o energie maximă egală cu energia electronilor inițiali. Spre deosebire de radionuclizi, care emit fotoni aproape monoenergetici, acest proces creează fotoni cu spectru energetic larg. O sursă puternică de raze X se obține prin distribuirea fascicolului de electroni pe un convertor de raze X de dimensiuni suficiente. Pentru a evita, cu un nivel foarte înalt de încredere, orice inducție de radioactivitate în produsul iradiat prin reacții fotonucleare, s-a stabilit o limită superioară de energie de 5 MeV, pentru iradiatoarele cu raze X. În viitor, o limită superioară de energie de 7,5 MeV ar putea deveni acceptabilă, deoarece riscul de inducere a radioactivității este nesemnificativ.

O țintă utilizată în iradiere tehnologică se evaluează după eficiența conversiei și după distribuția spațială a razelor X. Construcția țintei este optimizată pentru a-și îmbunătăți caracteristicile tehnice și economice. În condiții optime, doar aproximativ 7,6% din puterea totală a EB este convertită într-un flux orientat de radiație X, cu energie maximă de 5 MeV. Până la 76% din puterea EB trebuie îndepărtată printr-un sistem de răcire, iar diferența rămasă se pierde prin împrăștierea, retro-împrăștierea

electronilor și prin absorbție în ecran. În ciuda randamentului de conversie foarte mic, pentru unele aplicații, razele X pot oferi avantaje economice și operaționale față de sursele gamma (obținerea radiațiilor doar când trebuie folosite, confortul de a avea un echipament ușor de pornit, care poate funcționa în pas cu cerințele de producție). Evoluțiile recente la acceleratoarele de puteri și energii mari, schimbă perspectiva economică în utilizarea razelor X pentru aplicații industriale [6.13-6.20].

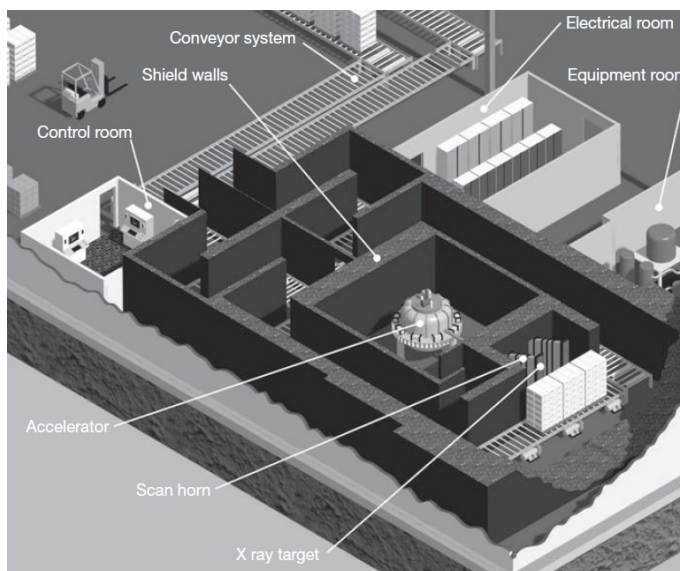


FIG. 6.3. Un iradiator EB echipat cu convertor de raze X (prin amabilitatea IBA, Belgia).

Figura 6.3. prezintă schița unui iradiator cu convertor de raze X. Pentru a optima condițiile de iradiere și pentru a calcula productivitatea, trebuie luați în considerare mai mulți parametri, cum ar fi densitatea și dimensiunea pachetului ce conține produsul, eficiența utilizării radiațiilor, doza ce trebuie aplicată și uniformitatea dozei. În 2010, în Daniken, Elveția, a fost instalat un accelerator EB cu o energie a fascicului de 7 MeV și o putere de 700 kW cu convertor de raze X. Iradiatorul tratează produsele plasate în paleți, fiind una dintre cele mai mari instalații de sterilizare existente. Instalații de acest tip pot fi utilizate în dezinfecția și consolidarea artefactelor culturale, în mod similar cu utilizarea iradiatoarelor gamma.

BIBLIOGRAFIE LA CAPITOLUL 6

- [6.1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiation Safety of Gamma, Electron and X Ray Irradiation Facilities, IAEA Safety Standards Series No. SSG-8, IAEA, Vienna (2010).
- [6.2] AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE, Safe Design and Use of Panoramic, Wet Source Storage Irradiators (Category IV), ANSI-N43.10-1984, ANSI, New York (2001).
- [6.3] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Radiation Protection — Sealed Radioactive Sources — General Requirements and Classification, ISO 2919:2012, ISO, Geneva (2012).
- [6.4] MACHI, S., Prospects for the application of radiation processing and the activities of the IAEA, Radiat. Phys. Chem. **52** 6 (1998) 591-597.
- [6.5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Directory of Gamma Radiation Processing Facilities in Member States, IAEA, Vienna (2004) CD-ROM.
- [6.6] SARMA, K.S.S., “Development of a family of low, medium and high energy electron beam accelerators”, Emerging Applications of Radiation Processing, IAEA-TECDOC-1386, IAEA, Vienna (2004) 73–77.
- [6.7] WOODS, R.J., PIKAEV, A.L., Applied Radiation Chemistry: Radiation Processing, John Wiley and Sons, Somerset, NJ (1994).
- [6.8] BEREJKA, A.J., CLELAND, M.R., WALO, M., The evolution of and the challenges for industrial radiation processing - 2012, Radiat. Phys. Chem. **94** (2014) 141-146.
- [6.9] CLELAND, M.R., PARKS, L.A., Medium and high-energy electron beam radiation processing equipment for commercial applications, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. **208** (2003) 74–89.
- [6.10] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Directory of Electron Beam Irradiation Facilities in Member States, IAEA-DGPF/CD, IAEA, Vienna (2008).
- [6.11] CLELAND, M.R., PAGEAU, G.M., Comparison of X-ray and gamma-ray sources for industrial radiation processes, Nucl. Instrum. Methods, Sect. B **24/25** (1987) 967–972.
- [6.12] AIKAWA, Y., A new facility for X-ray irradiation and its application, Radiat. Phys. Chem. **57** (2000) 609–612.
- [6.13] CLELAND, M.R., X-ray processing: A review of the status and prospects, Radiat. Phys. Chem. **42** 1–3 (1993) 499–503.
- [6.14] TAKEHISA, M., SAITO, T., TAKAHASHI, T., Characteristics of a contract electron beam and bremsstrahlung (X ray) irradiation facility of Radia Industry, Radiat. Phys. Chem. **42** 1–3 (1993) 495–498.
- [6.15] UEHARA, S., et al., A 5 MV 30 mA EB/X-ray processing system, Radiat. Phys. Chem. **42** 1–3 (1993) 515–518.
- [6.16] MIZUSAWA, K., KASHIWAGI, M., HOSHI, Y., 5 MeV electron beam facilities in Japan, Radiat. Phys. Chem. **52** 1–6 (1998) 475–477.

- [6.17] STICHELBAUT, F., et al., “The Palletron: A high dose uniformity pallet irradiator with X-rays”, (Proc. Int. Conf. CAARI 2002, Denton 2002), AIP Conf. Proc. **680** (2003).
- [6.18] GREGOIRE, O., et al., Radiological safety of medical devices sterilized with X-rays at 7.5 MeV, Radiat. Phys. Chem. **67** (2003) 149–167.
- [6.19] MEISSNER, J., et al., X-ray treatment at 5 MeV and above, Radiat. Phys. Chem. **57** 3–6 (2000) 647–651.
- [6.20] JONGEN, Y., et al., “Advances in sterilization with X rays, using a very high power Rhodotron and a very low DUR pallet irradiator”, Emerging Applications of Radiation Processing, IAEA-TECDOC-1386, IAEA, Vienna (2004) 44–54.

Capitolul 7

EPECTELE RADIATIILOR IONIZANTE ASUPRA MATERIALELOR

C.C. PONTA

Centrul de Iradierii Tehnologice IRASM,
Institutul Național de Fizică și Inginerie Nucleară HORIA HULUBEI,
Măgurele - Ilfov, România
Email: cponta2013@gmail.com

J.B.G.A. HAVERMANS

TNO Environmental Modelling, Sensing and Analysis,
Bergen op Zoom, Netherlands

Q.K. TRAN, L. CORTELLA

ARC-Nucléart,
Grenoble, France

7.1. INTRODUCERE

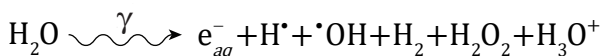
7.1.1. Efectul biocid și modificarea ADN

Iradierea este însoțită de un transfer de energie de la radiație la materialul țintă. Ținta este artefactul, care include și biodeteriogenii. Efectul imediat al acestui transfer energetic este modificarea componentelor chimice ale acestui tandem inseparabil: biodeteriogeni – artefact. Schimbările chimice care apar în organismele vii din cauza iradierii produc efecte biologice.

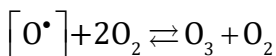
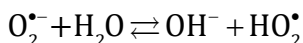
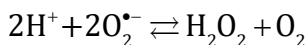
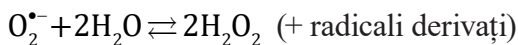
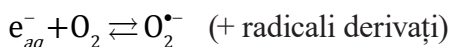
Fenomenul este mai bine cunoscut la microorganisme – organisme simple, unicelulare. Cea mai afectată moleculă a celulei vii este macromolecula ADN – cel mai important, cel mai semnificativ și mai prețios dintre componentele celulare. Funcția sa în celulă este direct legată de viață, căci replicarea sa este fundamentală în multiplicarea celulelor. Structura ADN permite identificarea entităților taxonomice și chiar a indivizilor, în cazul unor organisme mai complexe. O schimbare structurală care împiedică replicarea ADN duce la moartea celulei. În cazul

microorganismelor unicelulare, cum ar fi bacteriile, imposibilitatea diviziunii celulare echivalează cu moartea individului, deci cu inactivarea bacteriei. În urma iradierii, se rup bazele purinice și pirimidinice - părți importante ale structurii dublu helix a ADN-ului. Acestea sunt legăturile chimice cele mai sensibile ale moleculei ADN. Molecula are capacitate de refacere în niște limite, dar modificările drastice a ADN-ului fac imposibilă reproducerea celulelor. Inactivarea microorganismelor prin iradiere cu radiații ionizante, este esența procesului de sterilizare prin iradiere. Modificarea ADN-ului celular are loc și prin ridicarea temperaturii. Metoda stă la baza sterilizării termice.

Radiațiile ionizante pot interacționa cu celula în două moduri: (i) interacțiunea directă cu componentele celulare cum ar fi ADN și prin (ii) modificări indirecte produse de radicalii liberi care rezultă din radioliza apei. La inactivarea microorganismelor predomina efectul indirect. Din apa prezentă în învelișul de hidratare al moleculei ADN, se formează prin iradiere radicali liberi, cum ar fi radicalii hidroxilici (OH^\bullet) [7.1]. Aceștia sunt responsabili pentru 90% din deteriorările ADN [7.2-7.5]. Deși multe alte ipoteze au fost propuse cu privire la mecanismul de distrugere a celulelor prin iradiere, este universal acceptat faptul că ADN-ul cromozomial reprezintă cea mai critică „țintă” a radiației ionizante, căci deteriorarea acestuia provoacă inhibarea diviziunii celulare [7.5].



În prezența oxigenului se pot forma și alți radicali liberi importanți [7.6-7.10] conform următoarelor reacții:



Aceste reacții indică faptul că electronul ejectat, produs din ionizarea primară, este capturat mai întâi de molecule de apă, care-l înconjoară pentru a produce un electron hidrat. Acesta reacționează cu oxigenul pentru a forma anionul superoxidic. Potrivit Uniunii Internaționale de Chimie Pură și Aplicată (IUPAC), este recomandată notația $O_2^{\bullet -}$; totuși anionul superoxidic este scris frecvent ca O_2^- . Anionul superoxidic reacționează ulterior cu apa, rezultând formarea de apă oxigenată (peroxid de hidrogen). De asemenea, se mai pot forma oxigen, radicali de peroxid și ozon.

Radicalii formați sunt cauza deteriorării moleculelor organice, așa cum se va discuta în paragrafele următoare. Aici regula de bază este: cu cât este mai complexă molecula organică, cu atât mai puțină energie este necesară pentru a o deteriora.

Am început cu o scurtă descriere a efectelor iradierii asupra microorganismelor unicelulare, căci aceste efecte sunt mai bine înțelese la microorganisme, dată fiind structura lor simplă. În cazul formelor de viață mai evoluate, modificările la nivelul moleculelor declanșează efecte fiziologice și morfologice la nivelurile superioare de organizare a entităților biotice: celule, țesuturi, organe sau întregul organism.

7.2. RADIOSENSIBILITATEA ORGANISMELOR VII

Efectul biocid al iradierii a fost observat pentru prima oară la începutul secolului al XX-lea. Afecțiunile cutanate micotice au fost tratate cu săruri de rază incluse în unguente de uz topic [7.11, 7.12]. Entuziasmul excesiv al începuturilor, a fost temperat de observarea efectelor secundare ale iradierii, ceea ce a dus la recomandarea unei „doze de toleranță” din partea Comisiei Internaționale pentru Protecția la Rază-X și Rază [7.13].

Efectul biocid a generat importante aplicații industriale ale iradierii: sterilizarea dispozitivelor medicale și decontaminarea alimentelor.

O piatră de hotar în studierea efectului biocid al radiațiilor a fost observația că diferitele organisme vii au un comportament diferit în urma iradierii. Acest lucru a dus la conceptul de *radiosensibilitate*. A apărut de asemenea, o importantă problemă pragmatică: stabilirea dozei de iradiere eficiente – care produce efectul biocid. Diversitatea ființelor vii fiind atât de vastă, este imposibil să se efectueze măsurători pe fiecare dintre ele. Numai speciile de insecte sunt estimate la 30 milioane [7.14]. Dificultățile în stabilirea radiosensibilității sunt amplificate de faptul că o singură

specie de insecte poate avea până la patru forme de viață (ou, larvă, pupă și adult), fiecare având un comportament diferit la iradiere.

Radiosensibilitatea a fost măsurată cu atenție numai pentru speciile relevante în aplicații. Astfel, pentru a stabili doza de sterilizare a dispozitivelor medicale, a fost cercetată extensiv radiosensibilitatea microorganismelor, în special a bacteriilor.

Microorganismele – ciupercile și bacteriile, au ca și insectele forme active de viață, cu dezvoltare explozivă și forme inactice, prin care rezistă în condiții neprielnice (spori). Este de adăugat că pentru microorganismele, au fost obținute valori precise ale radiosensibilității, deoarece în cazul acestora, a fost posibilă o abordare experimentală cu statistică bună. Aceasta a permis ca radiosensibilitatea să fie exprimată prin D_{10} - un termen științific care are semnificația dozei de iradiere necesară pentru a reduce numărul de microorganismele cu un factor de zece (un ordin de mărime) (Figura 7.1).

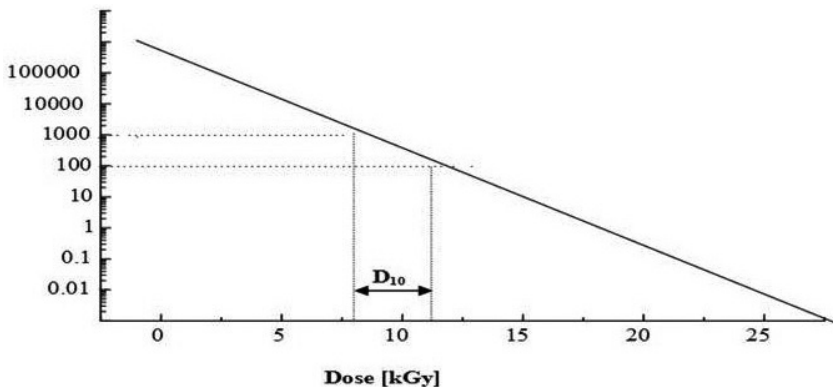


FIG. 7.1. Inactivarea schematică a microorganismelor prin iradiere; pe axa Y se găsește numărul de microorganisme reprezentat logaritmice.

Cele două aplicații industriale importante – sterilizarea prin iradiere și decontaminarea alimentelor, au fiecare o abordare proprie în ceea ce privește stabilirea și aplicarea dozelor de tratament. Diferențele în valoarea dozei de tratament, se datorează scopurilor diferite ale celor două aplicații și nu sunt neapărat legate de natura biodeteriogenilor (Tabel 7.1).

TABEL 7.1. VALORILE DOZEI DE IRADIERE CU EFECT BIOCID, SEMNIFICATIVE PENTRU UNII BIODETERIOGENI ȘI PENTRU OM

Domeniul de aplicare	Doza	Organism
Doza de eradicare a insectelor:		
Recomandată în dezinfecția artefactelor culturale	0.5–2.0 kGy	Insecte
Doza aplicată pentru:		
Tratarea alimentelor	10 kGy	Microorganisme
Decontaminarea artefactelor culturale		
Doza aplicată pentru sterilizarea dispozitivelor medicale	25 kGy	Microorganisme
D_{10} :		
Radiosensibilitatea celor mai multe microorganisme (fungi și bacterii) găsite în alimente, dispozitive medicale și artefacte de patrimoniu cultural	0,1–1,0 kGy	Majoritatea microorganismelor frecvente
$LD_{50/30}$		
Doza letală pentru 50% din subiecți după 30 zile; importantă în medicină	4 – 6 Gy	Om
Nota: Pentru alte mamifere $LD_{50/30}$ este de același ordin de mărime		

Rezumând capitolul până acum:

- **Moartea prin iradiere nu este bruscă, ci este rezultatul final al dezechilibrului structural**, morfologic și fiziologic indus de iradiere. În ansamblu, efectul biocid seamănă mai curând cu o boală, decât cu un accident de avion.
- Doza de iradiere necesară unei biocidări eficiente, este bine cunoscută în cazul fungilor și bacteriilor, pentru care sunt disponibile statistici bune, preluate din agricultura și industria medicală.
- În tabelul 7.1, termenul LD50/30 pentru decesul mamiferelor, semnifică valoarea medie a dozei cu efect letal în decurs de 30 de zile pentru 50% dintre subiecții iradiați. Conceptul este utilizat în toxicologia substanțelor și radiațiilor [7.15].
- Insectele sunt principalii biodeteriogeni din muzee. Din acest motiv, studiile s-au concentrat pragmatic asupra eradicării lor. A fost

raportată eficiența unor doze de tratament cuprinse între 0,5 kGy și 2 kGy [7.16, 7.17].

- Valorile D_{10} tipice pentru microorganismele uzuale găsite pe produse alimentare, dispozitive medicale, dar și pe artefacte de patrimoniu, se situează în intervalul 0,1-1 kGy [7.7, 7.18].
- Decontaminarea produselor alimentare este o aplicație consolidată a iradierii tehnologice [7.19].
- Sterilizarea este o altă aplicație veche a iradierii tehnologice [7.20]. În Tabelul 7.1, doza de 25 kGy este prezentată ca doză de sterilizare a dispozitivelor medicale, întrucât este acceptată în Farmacopeea Europeană [7.21]. Această doză a fost calculată ținând seama de cea mai mare rezistență la radiații a bacteriilor cunoscute, dar și de considerații statistice.
- Din experimentele efectuate pentru a stabili radiosensibilitatea organismelor vii, se poate observa că organismele mai evoluate sunt mai sensibile la radiații – LD50/30 pentru mamifere, de exemplu, este la nivelul de câțiva Gy, comparativ cu 10^2 sau 10^3 Gy pentru organisme simple.

Decontaminarea prin iradiere a artefactelor patrimoniului cultural se bazează, în esență, pe cunoștințe de bază similare cu cele utilizate în cele două domenii industriale mature: decontaminarea produselor alimentare și sterilizarea dispozitivelor medicale.

7.3. PREFAȚĂ LA EFECTELE COLATERALE

În ciuda asemănării efectului biocid obținut la decontaminarea artefactelor de patrimoniu cultural, cu cel anticipat în celelalte aplicații, o diferență importantă este că efectele colaterale iradierii asupra artefactelor, au altă semnificație în cazul obiectelor de patrimoniu și pot fi specifice, la limită, fiecărui artefact în parte. Astfel, la dezinfecția piperului, spre exemplu, vom iradia un material cu compoziție bine cunoscută și nemodificată de trecerea timpului, pentru că se consumă în scurtă vreme după recoltare. Iradierea nu trebuie să afecteze gustul, calitățile nutritive sau toxicologice. Dar dacă trebuie să dezinfecțăm artefactele dintr-o bibliotecă, vom avea de-a face cu hârtie de multe feluri, de compoziții diferite și cu diverse grade de îmbătrânire. Decontaminăm piperul pentru

a-l putea consuma în siguranță. Scopul decontaminării cărților (a tuturor artefactelor de patrimoniu), este să le putem păstra și folosi un timp cât mai îndelungat.

Fără îndoială, efectul biocid al iradierii poate fi însoțit de modificarea substanței tratate, fapt ce trebuie investigat cu atenție. Specifică pentru tratamentul artefactelor culturale prin iradiere, este complexitatea acestor teste în raport cu cele efectuate pentru stabilirea efectelor colaterale la iradierea produselor alimentare sau a dispozitivelor medicale. Condiția, sine qua non, este să nu apară modificări inacceptabile ale compoziției și proprietăților funcționale sau estetice ale artefactului. Interesează de asemenea și efectul iradierii asupra ritmului de îmbătrânire. Se fac de obicei și teste de îmbătrânire accelerată. Evaluarea efectelor colaterale este esențială prin urmare și va fi discutată în detaliu în cele ce urmează.

Cele mai importante efecte colaterale sunt legate de modificările polimerilor care constituie scheletul artefactelor organice: celuloza, lignina și proteinele. Acestea trebuie evaluate pentru toate materialele organice care ar putea fi supuse iradierii: lemn, hârtie, piele, textile et al. Alte efecte secundare sunt legate de modificarea reversibilă a rețelei cristaline a materialelor, de exemplu la sticle sau pietre semiprețioase (ce uneori însoțesc costumele sau mobila ce urmează a fi dezinfectate) sau la unele componente minerale.

După cum s-a discutat anterior, primul pas în interacțiunea radiației cu artefactul este formarea radicalilor liberi. Aceștia sunt specii chimice foarte reactive care au o durată de viață de aproximativ 10^{-3} sec. [7.22]. În acest timp scurt, ei reacționează, producând toate efectele – intenționate și colaterale – în artefact. Interacțiunea dintre radicalii liberi și polimeri conduce atât la scindarea lanțului polimeric, cât și la reticularea sa. Deși ambele tipuri de modificări sunt prezente, una dintre ele va fi dominantă, determinând efectul final. Predominanța uneia dintre cele două reacții depinde de natura materialului, dar și de condițiile de iradiere și ambientale. Scindarea lanțului polimeric este asociată cu slăbirea proprietăților mecanice, iar reticularea îmbunătățește proprietățile mecanice. Dar excepțiile observate îndeamnă la prudență. Astfel, în cazul celulozei prezentă în lemn, hârtie etc (ce are o importantă componentă cristalină), ruperea polimerului la doze de dezinfecție ($D < 10$ kGy), deși nu este neglijabilă, nu conduce la modificări inacceptabile ale proprietăților mecanice (Capitol 7.4.1.). Proprietățile mecanice depind preponderent de legăturile de

hidrogen din structura cristalină a celulozei, iar acestea nu sunt afectate de iradiere.

Majoritatea radicalilor liberi produși prin iradiere dispar prin reacții rapide cu ei înșiși sau cu speciile chimice înconjurătoare. Un număr mic de radicali liberi este trapați, adică fixat temporar în capcane electromagnetice. Radicalii trapați sunt astfel împiedicați să reacționeze chimic, păstrând doar o reactivitate potențială, latentă. Traparea radicalilor liberi este posibilă doar în regiunile cristaline ale anumitor substanțe cum ar fi celuloza sau hidroxiapatita (prezentă în oase) [7.23]. Proteinele au mult mai puține regiuni cristaline. În consecință, pergamentul, pielea, lâna și mătasea au capacitate mică de a trapa radicalii liberi. Radicalii liberi trapați nu rămân blocați pentru totdeauna. În timp, ei scapă din capcane și redevin reactivi. Acest fenomen care teoretic poate conduce la modificări ulterioare tratamentului, ce pot apare într-un timp nedefinit, este un motiv de îngrijorare din partea conservatorilor/restauratorilor. Îngrijorarea nu este cu totul justificată, căci numărul radicalilor liberi trapați este mic, efectele produse fiind ne semnificative. Oricum radicalii liberi trapați pot fi monitorizați, calitativ și cantitativ, prin rezonanță paramagnetică electronică (EPR), numită și rezonanță electronică de spin (RES).

Ca regulă generală, modificarea structurii se reflectă în modificarea proprietăților, dar tabloul relației dintre structură și proprietăți, este unul foarte complex și nu are multe reguli. De aceea, în evaluarea efectelor colaterale unui tratament prin iradiere, trebuie luate întotdeauna în considerare modificările proprietăților materialului iradiat și nu numai cele structurale.

Și mucegaiul produce radicali liberi și, în timp, poate degrada complet artefactul. Deși iradierea poate degrada artefactele, efectele sale sunt mai puțin grave decât cele ale mucegaiului, de exemplu (Capitol 12).

În afară de aspectele importante menționate mai sus, responsabile pentru efectele biocide și colaterale, iradierea poate influența structura unui polimer prezent uneori în artefacte arheologice – ADN-ul fosil. Acest aspect va fi de asemenea comentat în cele ce urmează, ca și influența iradierii asupra datării artefactelor (metodele ^{14}C , TL, OSL, RES).

7.3.1. ADN-ul prezent în artefacte

Structura ADN-ului este ca o semnătură personală. Din acest motiv, analiza ADN este un instrument în identificarea medico-legală, de exemplu. Înainte de efectuarea analizei ADN, materialul brut pentru identificare trebuie frecvent să fie dezinfectat (de exemplu, în cazul corpurilor în putrefacție). Cercetările au arătat că analiza ADN este încă posibilă chiar și după iradierea la doze până la 50 kGy [7.24-7.26].

Unele descoperiri arheologice conțin macromolecule vechi conservate (ADN fosil, colagen) care pot oferi informații prețioase. O întrebare importantă este dacă dezinfecția prin iradiere va modifica aceste informații.

„ADN fosil” este denumirea a ceea ce a rămas din molecula ADN inițială, în urma degradării naturale. Molecula de ADN se rupe în mod natural în timp, în zona legăturilor chimice mai slabe. Analiza ADN fosil aplicată asupra rămășițelor unor specii dispărute, poate aduce importante informații filogenetice și implicit despre evoluția vieții.

Există observații asupra acestui subiect și un punct de vedere, acela prezentat mai sus, dar nu există încă un studiu comprehensiv privind efectele iradierii asupra ADN-ului fosil. Recent au fost colectate eșantioanele de la un mamut înainte și după iradiere cu 20 kGy la Grenoble în 2010 (Capitol 14). Rezultatele acestor studii vor furniza dovezi privind modul în care ADN-ul fosil a fost afectat de iradierea gamma.

7.3.2. Datarea cu ^{14}C și altele

Colagenul extras din oase fosile este folosit în datarea AMS – ^{14}C . Metoda de datare se bazează pe măsurarea raportului numeric $^{14}\text{C}/\text{C}_{\text{total}}$. Nici conținutul de ^{14}C , nici conținutul total de carbon, nu sunt afectate de iradiere la indiferent ce doză. Ca urmare datarea prin ^{14}C nu este influențată de dezinfecția prin iradiere.

Ceramica nu are componente organice și în mod normal decontaminarea acesteia cu ajutorul radiațiilor ionizante nu este necesară. Ar mai fi de menționat că iradierea ceramicii înainte de a efectua datarea prin tehnici cu luminescență va altera rezultatul datării. Se întâmplă așa pentru că datarea prin termoluminescență (TL) și prin luminescența stimulată optic (OSL) se bazează pe măsurarea modificărilor care au fost induse de

iradierea naturală în minerale prezente în ceramică (cuarț sau feldspat). Astfel, aplicarea iradierii înaintea datărilor de acest fel, va duce la rezultate false, obiectul părând mai vechi decât este de fapt. Au existat cazuri în care au fost iradiate falsuri ceramice, tocmai pentru a fi îmbătrânite artificial.

7.4. EFECTELE COLATERALE ALE RADIAȚIILOR IONIZANTE

Din punctul de vedere al restauratorului, este esențial să fie înțelese efectele benefice ale iradierii, precum și riscurile de modificare a proprietăților funcționale și estetice ale artefactului. Următoarele subsecțiuni, organizate pe tipuri de materiale, rezumă efectele colaterale ale radiațiilor ionizante, care pot afecta proprietățile artefactului.

7.4.1. Materiale celulozice și lignocelulozice, inclusiv textile

Materialele lignocelulozice sunt alcătuite din celuloză și câteva substanțe înrudite, asociate intim cu lignina, și care alcătuiesc pereții celulari ai plantelor.

Lemnul este unul dintre cele mai importante produse naturale și are o structură unică. Există multe tipuri diferite de lemn, căci sunt cunoscute peste 30 000 de specii diferite de arbori. Aceștia pot fi împărțiți în două grupe principale: angiosperme sau foioase (lemn de esență tare) și gimnosperme sau conifere (lemn de esență moale) [7.28, 7.29]. Lemn de esență tare au de exemplu fagul și eucaliptul; bradul Douglas sau pinul produc lemn de esență moale. În stratele pereților celulari ai arborilor există o matrice constând din microfibrile de celuloză înglobate în substanțe cum ar fi hemiceluloza și lignina. Funcția primară a celulozei este aceea de a conferi copacului rigiditate și rezistență mecanică ridicată. Lignina asigură suportul pentru fibrilele de celuloză subțiri și le împiedică să se îndoie. Hemicelulozele, sau heteropolizaharidele, servesc ca agenți de cuplare ce leagă celuloza și lignina [7.30].

Lemnul, hârtia sau textilele din bumbac, au ca principală componentă celuloza. Celuloza este un biopolimer linear cu greutate moleculară mare, constând din unități β -D-glucopiranoză legate prin legături β -(1,4) glicozidice (Figura 7.2). Cele două capete ale polimerului sunt diferite. La capătul din stânga, în poziția C4 a structurii inelului, este o grupare

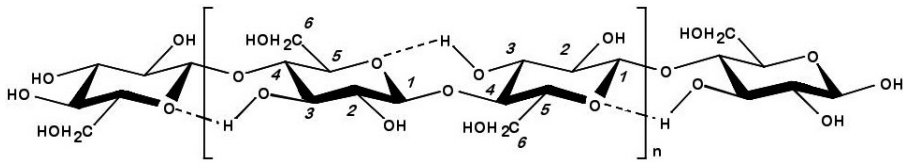


FIG. 7.2. Configurația celulozei. În mijloc figurează unitățile repetitive de β -glucoză. Liniile punctate sunt așa-numitele punți de hidrogen.

hidroxil nereducătoare, în timp ce la capătul din dreapta, în poziția C1 a structurii inelului, este prezentă o grupare hidroxil reducătoare. Acest grup este de fapt un grup hemiacetal. Principala diferență între celuloză din lemn și cea din bumbac este gradul de polimerizare sau numărul de unități de β -glucoză dintr-un lanț polimeric, care poate varia de la 50.000 la 2.500.000 [7.28, 7.29].

Așa cum s-a explicat mai sus, principalele reacții care pot apărea la iradiere sunt cauzate de radicalii liberi. Ca urmare, principalul factor de degradare poate fi considerat a fi oxidarea, urmată de acidifiere. Radicalii pot rămâne stabili pentru o perioadă de timp în zonele cristaline ale celulozei [7.31]. Potrivit lui Young și Rowell [7.32], din reacțiile cu radicalii liberi se poate forma D-glucoza (principalul produs de degradare finală), împreună cu un număr de substanțe cu greutate moleculară mică. Totuși, întrucât atât lemnul, cât și hârtia, nu conțin numai celuloză, pot apărea multe alte reacții, inclusiv reacțiile de hidroliză catalizate de acizi, în funcție de gradul de cristalinitate al celulozei [7.33, 7.34]. Astfel, regiunile mai puțin cristaline sunt mai sensibile la degradare prin hidroliză decât regiunile cristaline. Celuloza din bumbac conține mai multe regiuni cristaline decât celuloza din lemn [7.28]. Oxidarea celulozei poate începe la gruparea hidroxilului reducător. Pe de altă parte, generarea în structura fibrilară, prin iradiere, a radicalilor hidroperoxid, conduce la polizaharide cu masă moleculară scăzută, prin degradare hidrolitică ionică, inițiată de grupurile terminale din celuloză [7.35]. S-a sugerat că principala reacție care duce la degradarea celulozei implică extragerea hidrogenilor legați de carbon, de către radicalii hidroxil. Prin urmare, se vor forma radicali hidroxialchil care ulterior se vor transforma în grupări carboxil prin oxigenare. Grupările carboxilice formate la atomii C2, C3 și C6 ai moleculei de celuloză pot conduce la scindarea legăturii glicozidice [7.34, 7.36].

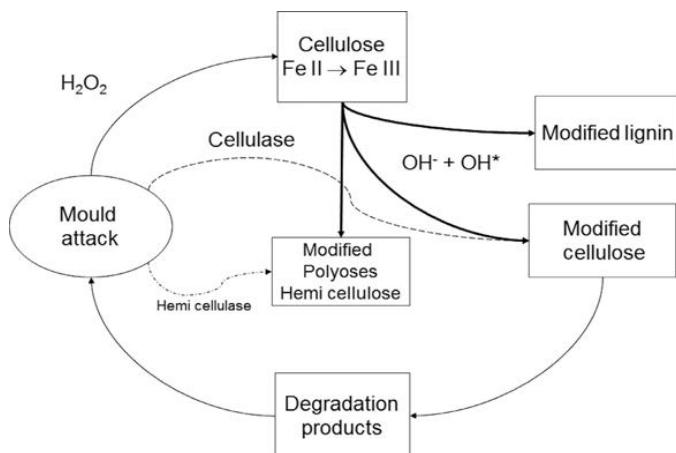


FIG. 7.3. Modelul ipotetic al formării peroxizilor și radicalilor la degradarea hârtiei de către mușcăi [7.39].

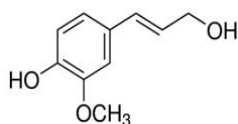


FIG. 7.4. Alcool coniferilic, una din unitățile monomerice din lignină.

Koçar și colaboratorii, au demonstrat că radicalii superoxidici au un rol important ca precursori ai unor specii luminescente și au deci un rol important în degradarea oxidativă a celulozei [7.37, 7.38]. În materialele lignocelulozice se pot forma radicali și datorită prezenței mușcăiurilor (Figura 7.3). Aceștia sunt la fel de reactivi ca și cei formați prin iradiere gamma. Prin urmare, deteriorarea acestor materiale prin radicali liberi este comună celor două procese de degradare [7.39, 7.40]. În plus, expunerea celulozei și a altor polizaharide la surse de lumină cu o lungime de undă sub 330-340 nm (zona UV a spectrului electromagnetic) poate conduce de asemenea la formarea radicalilor liberi [7.29, 7.39, 7.41, 7.42].

Lignina este un biopolimer complex, compus din unități monomerice de fenilpropan. Structura polimerică diferă între foioase (lemn tare) și rășinoase (lemn moale). Una din unitățile monomerice de fenilpropan este alcoolul coniferilic (Figura 7.4). Steelink a arătat că în lignină sunt prezenți radicali liberi stabili. El a observat utilizând fenolii ca model, că derivații de α -carbonil syringol pot fi oxidați la radicali liberi remarcabil de stabili în soluție. Analogii guaiacolului nu formează în condiții similare

radicali stabili, în timp ce disiringilmetanul a format un radical liber solid și stabil, care poate fi specia responsabilă pentru conținutul mare de radicali liberi găsiți în lignină kraft provenită din lemn tare [7.43]. Studiile privind activitatea antioxidantă a 14 probe de lignină obținute din lemn de măr, au arătat că eficacitatea antioxidantă a ligninei este comparabilă cu cea a unui antioxidant natural puternic cum ar fi catechina [7.44]. Astfel, degradarea oxidativă este mai redusă în lemnul sau în materialele care conțin lignină, deoarece lignina este capabilă să acționeze ca un captator de radicali. Materialele care conțin lignină pot fi, prin urmare, protejate în mod natural la iradiere.

Severiano et al., au concluzionat în 2010, că o doză de iradiere de până la 100 kGy nu a influențat proprietățile speciilor de lemn cum ar fi Cedro Rosa (*Cedrella fissilis*) și imbuia (*Ocotea porosa*) [7.45]. În altă lucrare, aceiași autori au sugerat că artefactele din lemn pot fi, prin urmare, iradiate de mai multe ori dacă se produce o reinfectare, fără modificări semnificative ale proprietăților mecanice ale lemnului. Totuși, unele modificări chimice minore au fost observate de către Havermans et al. în 2007 [7.46]. Ei au descoperit că lemnul de pin și cel de sequoia devin oarecum mai acide după iradierea la 60kGy, pH-ul schimbându-se la pin de la 5.2 înainte de iradiere până la 4.8 după iradierea cu o doză 60kGy, respectiv de la 4.4 la 4.3 la sequoia.

Dezinfecția hârtiei prin iradierea gamma a fost subiectul unor cercetări mai cuprinzătoare. În 1972, Pavon Flores [7.47] a aplicat iradierea gamma ca fungicid și a studiat efectele sale asupra hârtiei. Din experimente s-a dedus doza letală pentru fungi, iar apoi această doză a fost aplicată pentru a studia efectul iradierii asupra hârtiei moderne. S-au aplicat doze de 5, 7, 9 și 18kGy și s-a concluzionat că doza mare a eradicat infecția în întreaga structură internă a hârtiei. Evaluarea a fost făcută folosind îmbătrânirea artificială și s-a constatat în plus că materialele care conțin lignină au prezentat o rezistență mai bună la iradiere decât cele care conțin numai celuloză. Pentru verificare, s-a recomandat ca cercetarea să fie repetată folosind documente îmbătrânite și mucegai naturale și să fie aplicată pentru dezinfectarea anumitor tipuri de documente. Horakova și Martinek [7.48] au aplicat până la 26kGy pentru a investiga efectele asupra materialelor de arhivă afectate de mucegai. Ei au concluzionat că majoritatea speciilor de mucegai testate (cum ar fi *Aspergillus flavus* și *Aspergillus niger*) pot fi eradicate în mod eficient la 8kGy și

că nu s-au produs schimbări semnificative în materialele papetare testate (hârtie de filtru Whatman, hârtie din cârpe și hârtie din lemn). Pentru a investiga efectele iradierii asupra hârtiei pe termen lung, în 1987, Butterfield [7.49] a aplicat o doză de 10 kGy. El a concluzionat că iradierea și îmbătrânirea termică au efecte sinergice: în rezumat, la o hârtie iradiată și apoi învechită artificial, diminuarea proprietăților mecanice este mai mare decât suma efectelor obținute separat pe probe tratate prin iradiere, respectiv prin îmbătrânire termică. În 1992, Hofenk de Graaff et al. [7.50] au publicat cercetări privind iradierea gamma la 10 kGy pe diferite tipuri de hârtie. Au fost prezentate doar datele obținute după îmbătrânirea artificială (așa-numita îmbătrânire artificială uscată și umedă). Datele prezentate sugerează că iradierea a provocat degradări serioase, dar acestea nu includ incertitudinea statistică a analizelor. O mică trecere în revistă a fost publicată de Sinco în 2000, în care au fost discutate diferite lucrări privind iradierea gamma. Documente originale afectate de inundații sau alte fenomene, au fost tratate la o doză de până la 15 kGy, iar după mulți ani cărțile originale erau încă în stare bună, consultabilă [7.51]. Fără îndoială se poate spune că la iradiere gamma au loc cu siguranță modificări structurale ale celulozei. Baccaro et al. [7.52] au studiat modificările moleculare utilizând termogravimetria (TG), termogravimetria diferențială (DTG) și spectroscopia în infraroșu cu transformată Fourier (FTIR). La o doză extrem de ridicată de până la 500 kGy, s-a observat o creștere a numărului legăturilor carbonilice (C = O) datorată ruperii legăturilor glicozidice prin degradare oxidativă și a fost observată o creștere a indicelui de cristalinitate care a fost atribuită apariției reacțiilor de reticulare. S-a putut observa formarea grupărilor carbonil chiar și la o doză de 4 kGy. Flieder et al. [7.53] a concluzionat de asemenea că modificările în celuloză au apărut la o doză de 3 kGy, dar că o doză de 0,5 kGy ar putea fi suficientă pentru a distruge insectele fără a determina modificări semnificative în molecula de celuloză.

Moise et al. [7.54] au aplicat o doză de 10 kGy pentru a studia modificările structurale utilizând metode calorimetrice. Ei au ajuns la concluzia că schimbările în structura celulozei datorate iradierii, sunt influențate în principal de modificări ale structurii legăturilor de hidrogen. Autorii au observat că la doza utilizată, structura inițială a legăturilor de hidrogen nu a fost modificată în celuloza hârtiei de filtru iradiată, chiar dacă a existat o depolimerizare. Autorii au explicat astfel de ce proprietățile mecanice ale

celulozei din hârtia de filtru nu au fost modificate prin iradierea la doză de dezinfectie de 10 kGy.

În ultimii 15 ani, Adamo et al. au publicat multe experiențe dedicate efectelor iradierii gamma asupra stabilității hârtiei. În 2001 [7.55] autorii au concluzionat că s-au observat modificări semnificative în materialele papetare iradiate la o doză mai mare de 10 kGy. Ei au accentuat, de asemenea, că dozele mari (până la 200 kGy) sunt excesive pentru eradicarea mușgaiului și insectelor în arhive și biblioteci și nu sunt necesare. Au mai constatat că la doze de 100-200 kGy, hârtia a devenit mai susceptibilă la mușgai din cauza modificărilor polimerice. Acest fapt nu a fost observat la doză de dezinfectie normală – 10 kGy [7.56]. Ei ajunseseră la concluzii similare într-un studiu din 1998 [7.57] în care a fost iradiată hârtie de filtru cu o doză de până la 10 kGy și nu s-a observat nici un efect semnificativ asupra proprietăților mecanice. De asemenea, nu s-a observat nici o modificare semnificativă a acidității care să poată fi atribuită iradierii. Studii privind efectele unei doze de până la 10 kGy asupra degradării și stabilizării celulozei au mai fost efectuate de către Area et al. [7.58] și Havermans [7.59, 7.60]. Concluziile au fost similare, anume că nu s-au putut observa modificări chimice și fizice semnificative și relevante totodată la iradiere cu o doză de până la 10 kGy. Principalele modificări observate care ar putea fi atribuite iradierii gamma, au vizat gradul de polimerizare și formarea de molecule mici, dar acestea nu au afectat utilizarea zilnică a artefactului. Havermans și colab. [7.61] au raportat că iradierea la 10 kGy a mărit ușor emisia volatilelor, în special acid acetic și n-pentan, sugerând un început de deteriorare oxidantă.

Lucrarea lui Moise et al. din 2012 [7.62] a confirmat, în România, că incertitudinea de măsurare a proprietăților mecanice a fost mai mare decât degradarea indusă de iradierea gamma la 15 kGy, iar în cazul hârtiei artefactelor afectate de mușgai, diferența ar putea fi chiar mai mare. Autorii au concluzionat că utilizarea unui interval de doză de 5-7 kGy poate asigura o scădere semnificativă a încărcăturii microbiene (contaminării), ceea ce minimizează semnificativ afectarea hârtiei. Intervalul recomandat pentru tratament este în concordanță cu rezultatele prezentate de Havermans în 2011 [7.59]. În Olanda, prin urmare, doza de tratament a fost stabilită la 8 ± 2 kGy. Deviația admisă de ± 2 kGy trebuie luată în considerare și formal, în normative, ea fiind în acord cu variația dozei ce nu poate fi evitată în iradiatoarele industriale.

Pe baza cercetărilor descrise mai sus, se poate concluziona că iradierea determină formarea de radicali în matricea lignocelulozică. Acești radicali sunt capabili să inițieze reacții de degradare oxidativă similare cu cele cauzate de mucegaiul viu prezent în substrat. Majoritatea studiilor au fost efectuate utilizând hârtie de filtru, cu grad mare de cristalinitate. Materialul are capacitatea de a trapa radicalii liberi pentru o perioadă de timp. O concluzie logică indică că materialele învechite natural, care conțin celuloză mai puțin cristalină, vor fi mai puțin afectate de acești radicali. Trebuie avut în vedere că mucegaiul provoacă o degradare gravă a hârtiei. Această degradare este mai severă decât cea cauzată de eradicarea mucegaiului prin iradiere gamma aplicată într-un stadiu incipient al infecției, așa cum a fost demonstrat în studiile de caz (Capitolele 10-26). Michaelsen et al [7.63] a comparat trei metode de tratament în masă, ce pot fi luate în considerare în cazul unor dezastre: liofilizarea, fumigația cu oxid de etilenă și iradierea gamma. Probele au fost monitorizate pentru a evalua eficiența pe termen scurt și lung a acestor tehnici de eradicare a fungilor. Au fost studiate modificările ADN și ARN apărute în urma tratamentelor. Concluzia a fost că iradierea gamma poate fi utilizată pentru a trata simultan cantități mari de hârtie, fără riscuri chimice ulterioare și că trebuie considerată ca o alternativă valabilă de decontaminare în eliminarea microorganismelor biodeteriogene sau în reducerea concentrației lor la un nivel controlabil. Pe de altă parte, liofilizarea poate fi aplicată doar pentru a stopa dezvoltarea explozivă a mucegaiului, în așteptarea unui tratament eficient.

7.4.1.1. *Textile*

Fibrele textile naturale pot fi clasificate în *fibre celulozice*, obținute din bumbac, in, cânepa etc și *fibre proteice* cum sunt cele din lână și mătase. Aceste fibre sunt constituite din polimeri liniari cu lanț lung, macromoleculele fiind aliniate cu axa lungă. În general, fibrele sunt cu atât mai rezistente cu cât este mai pronunțat gradul lor de orientare și mai mare lungimea macromoleculei. Simetria moleculei liniare sporește posibilitatea formării de zone cristaline în structura internă a fibrei. Există zone în care moleculele nu pot fi aliniate și unde nu există cristalinitate. Acestea se numesc zone amorfe, iar capacitatea de alungire a fibrei este asociată în primul rând cu aceste zone. Datorită capacității sale de penetrare, radiația

ionizantă nu își concentrează efectele asupra vreunei porțiuni particulare a fibrei – interacțiunea este aleatorie. Efectele iradierii asupra fibrelor pot fi evaluate în mai multe moduri. Dintre acestea, rezistența la tracțiune, alungirea la rupere și modulul lui Young sunt utilizate cu prioritate fiind proprietăți fizice critice. O scădere a rezistenței la tracțiune indică o scădere a lungimii lanțului molecular, adică o scindare a lanțului. O creștere a modulului Young este considerată ca o dovadă a reticulării. Modificarea proprietăților menționate în funcție de doză, are alură similară cu scindarea lanțului în funcție de doză. După cum s-a arătat, la iradiere pot apărea și reacții de oxidare, iar acestea pot influența suplimentar proprietățile fibrelor.

Din punct de vedere structural, la iradiere apar scindări ale lanțului polimeric și grupări carbonil și carboxil în structura fibrelor celulozice. Dar, molecula de celuloză nu este afectată chimic în mod relevant, dacă nu primește o doză mai mare de 10kGy. La doze superioare valorii de 10kGy, numărul de scindări, de grupări carboxilice și carbonilice formate, crește rapid cu creșterea dozei [7.64].

Uneori se folosește iradierea gamma la doze mari pentru dezinfectarea bumbacului aflat în carantină (21-74kGy). Aceasta nu are un impact semnificativ asupra valorilor uniformității și imperfecțiunii firului, dar apar importante efecte asupra rezistenței și alungirii firului, a comportării la prelucrare și a rezistenței la abraziune [7.65].

O cercetare efectuată în anii 1960 a arătat că atunci când lâna este supusă iradierii într-un reactor nuclear, prima schimbare vizibilă a proprietăților sale este în susceptibilitatea sa la deteriorarea în prezența alcaliilor [7.64]. La doze de radiații de peste 100 kGy, creșterea sensibilității la alcalii a fost însoțită de o scădere a „indicii de 30%”, definit ca raportul dintre lucrul mecanic necesar pentru a alungi cu 30% o singură fibră îmbibată cu apă, și cel necesar pentru alungirea unei fibre netratate. Astfel, un număr mai mic de 1 indică deteriorarea fibrei. Totuși, forma curbelor de solicitare la stress a fibrei iradiate, a fost identică cu cea a fibrei neiradiate, iar revenirea elasticității pe termen lung nu s-a pierdut. Acest lucru a indicat faptul că iradierea nu a perturbat configurația împachetată a moleculelor de keratină, considerată responsabilă pentru proprietățile de revenire pe termen lung a elasticității lânii. Dozele de radiații uzuale în dezinfecție, nu afectează în mod semnificativ fibrele. O schimbare perceptibilă s-a produs abia la o doză de aproximativ 50 kGy [7.64].

Cercetări mai recente, care combină analizele termice (TG și DTG), spectroscopia în IR (spectroscopie FTIR cu reflectanță total atenuată) și testele mecanice, pe probe de țesături de mătase și lână, supuse îmbătrânirii accelerate și apoi iradiate cu doze gamma de 10 și 25 kGy, au indicat că o doză de iradiere > 10 kGy produce pierderi de elasticitate și afectează rezistența mecanică a firelor [7.66].

Mătasea este mai puțin stabilă decât lâna în aceleași condiții de iradiere, așa cum indică modificările rezistenței la rupere, dar este ceva mai stabilă decât fibrele celulozice. Există dovezi că apar alte modificări moleculare decât scindarea lanțului, căci fibrele iradiate devin insolubile în soluție de clorură de zinc, în timp ce fibrele neiradiate sunt solubile [7.64, 7.67-7.69].

Textilele sunt frecvent vopsite, iar fibrele străvechi sunt adesea colorate cu coloranți naturali solubili în apă, extrași din plante sau din anumite specii de animale. Efectele colaterale iradierii asupra coloranților textili sunt discutate în alt capitol și trebuie luate în considerare cu atenție.

Concluzia ce rezultă din cercetările prezentate mai sus este că la iradierea gamma a textilelor din bumbac, mătase și lână nu trebuie depășită doza de 10 kGy [7.64, 7.66].

7.4.2. Obiecte conținând pigmenți și coloranți

În picturile de șevalet sau pe lemn, ca și în picturile aflate pe pereții peșterilor, culoarea este dată de substanțe anorganice, cristaline, insolubile în apă sau ulei, numite *pigmenți*, care constau din oxizi, hidroxizi, săruri și cărbune. Artefactele textile, pielea și hârtia sunt deseori colorate cu substanțe solubile în apă numite *coloranți*.

Pigmentul este măcinat într-o pulbere fină și amestecat cu un liant. El nu este solubil în liant, ci formează o suspensie omogenă numită vopsea. Culoarea vopselei este culoarea pigmentului. Compoziția chimică a pigmentilor nu este afectată de iradiere, așa cum se întâmplă cu toate substanțele anorganice. O evaluare a posibilelor schimbări de culoare produse prin iradiere a fost făcută pe vopsele – pigmenți dispersați în lianți. Nici o culoare specifică nu a fost modificată substanțial prin iradiere până la doze mari de 36 kGy [7.70]. Comportamentul la iradiere a pigmentilor este similar cu cel al pietrelor opace, cum ar fi lapis lazuli sau turcoaz.

Spre deosebire de pigmenți, coloranții sunt de origine organică.

Coloranții utilizați la artefactele vechi au fost extrași din plante și animale – insecte sau gastropode. Ei mai sunt numiți și pigmenți biologici. Compoziția chimică și culoarea coloranților pot fi modificate prin iradiere. Din acest motiv, înainte de decontaminarea prin iradiere a artefactelor vopsite, sunt necesare teste. Deși dozele mici necesare pentru eradicarea insectelor par a fi inofensive, cercetări recente au raportat o modificare notabilă de la roșu la galben a bumbacului colorat cu henna. Pentru doze cuprinse între 5 și 25 kGy, au fost măsurate valori, exprimate în ΔE , de la 5 la 10 [7.71]. Este interesantă observația că s-au raportat schimbări de culoare de același ordin de mărime, la unii coloranți, după tratamentul de dezinfecție prin anoxie, utilizată numai pentru eradicarea insectelor [7.72-7.74].

O atenție specială trebuie avută cu substanța numită carmin – un pigment care este și colorant. Este vorba despre un pigment de lac, foarte scump și de origine organică, produs de insecte. Deși nu există teste specifice cunoscute, teoretic, culoarea sa s-ar putea modifica ca rezultat al iradierii.

Din aceleași motive, trebuie acordată o atenție sporită picturilor moderne, care pot conține pigmenți (insolubili în lianți) sintetici, de origine organică. În anii 1950, au apărut pe piață vopsele acrilice care conțin numai coloranți organici sintetici. Din câte știu autorii acestei cărți, nu există publicații științifice despre efectele iradierii asupra vopselelor acrilice.

7.4.3. Lacuri și lianți

Comportamentul la iradiere al lacurilor poate fi mai complex, căci acestea sunt straturi transparente. Este posibil ca, în funcție de grosimea lor, centrele de culoare din lacuri să se activeze și să devină perceptibile. În cazul diferitelor lacuri și lianți care au fost testați, doar guma arabică a arătat o modificare notabilă la iradiere, când a fost aplicată gros (12 straturi, 110 μm), obținându-se o diferență de culoare de 2,48 unități CIEL $*a*b*$, la 20 kGy. Același liant aplicat mai subțire, nu prezintă modificări detectabile ($\Delta E = 1,50$ pentru 6 straturi, 30 μm , la aceeași doză). Aceleași rezultate (adică nu s-au observat efecte vizibile) au fost obținute într-un studiu din 2012, în care liantul a fost gumă arabică cu clei animal și gălbenuș de ou, iar iradierea s-a făcut la doze de până la 25 kGy [7.75].

Ar trebui avută în vedere și o posibilă slăbire structurală a stratelor de grund, a lianților sau a lacurilor după iradiere. Totuși, un astfel de

comportament poate să apară doar la doze ce depășesc câteva zeci de kGy, adică mult mai mari decât dozele utilizate în dezinfecție. Un studiu italian din anii 1970 [7.76] a indicat o pierdere a puterii adezive a cleiului de iepure după iradiere la 10 kGy. Informația nu a fost reconfirmată și nici o altă problemă similară nu a fost raportată, deși au fost numeroase materiale tratate sau experimente efectuate în laboratoare.

În ceea ce privește efectele iradierii mai trebuie discutată și o altă familie de materiale: materialele naturale sau sintetice utilizate ca lacuri sau adezivi/consolidanți în restaurare și conservare (Figura 7.5). Majoritatea acestor constituenți au fost proiectați pentru a fi foarte stabili, și așa stau lucrurile la dozele biocide utilizate. Nu a fost raportată nici o pierdere a funcțiilor mecanice în urma iradierii, în cazul adezivilor, materialelor de etanșare, a acoperirilor cu mastic, a materialelor de consolidare sau a altor materiale de umplură. Un caz semnificativ de schimbare a culorii a fost însă detectat cu un material special de umplere: Modostuc alb [7.77]. Testele efectuate pe alte materiale utilizate în mod obișnuit în conservare, precum paraloidul B72 și rășina Plextol B500, umplutura Toupret și „gesso” sintetic Lefranc & Bourgeois, nu au evidențiat niciun fel de probleme de culoare. Culorile pentru retuș, cum ar fi Liquitex acrilic, demonstrează, de asemenea, o stabilitate la iradiere excelentă. Este interesant faptul că după iradierea cu doze de până la 50 kGy a fost confirmată reversibilitatea schimbărilor de culoare în patru produse de conservare (Paraloid B72, rășină N-cetonă Laropal K80, acetat de polivinil Mowilith 30 și polietilenglicol) [7.78].

7.4.4. Sticle și geme

În cazul iradierii la doze mai mici de 1kGy (utilizată la eradicarea insectelor), sticlele [7.79, 7.80] și gemele [7.81] pot suferi modificări parțial reversibile ale culorii, datorită modificărilor în absorbția optică după crearea centrilor de culoare, care implică dispariția unui electron dintr-o poziție în mod normal ocupată. Activarea centrilor de culoare se practică și intenționat, pentru a colora pietre transparente incolore, cum ar fi topazul natural [7.82], dar sunt necesare doze de iradiere uriașe [7.83]. De obicei, sticla devine maro închis după iradierea la doza de sterilizare. Rezultatele măsurătorilor de schimbare a culorii după iradiere a unor materiale transparente (sticlă, silice, cuarț și fluorit) sunt prezentate în Figura 7.6.

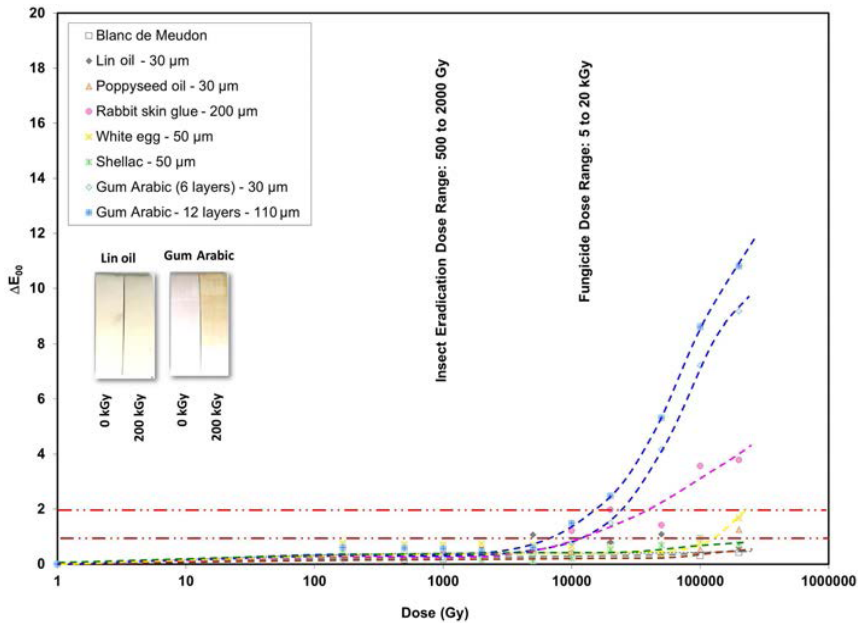


FIG. 7.5. Modificări de culoare ale unor lianți și lacuri în funcție de doza gamma.

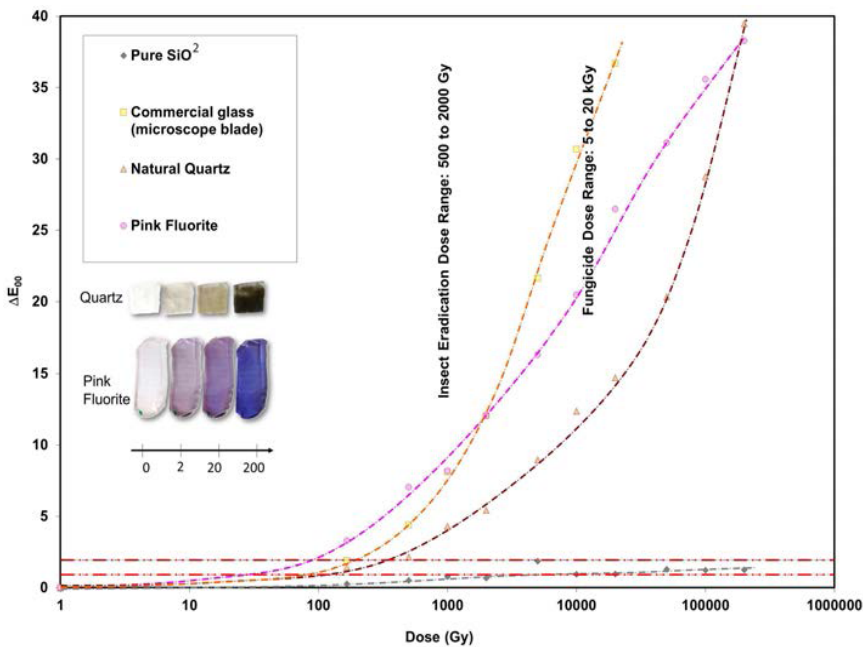


FIG. 7.6. Schimbările de culoare ale unor materiale transparente în funcție de doza de iradiere.

Pe de altă parte, materialele colorate opace sunt rareori afectate de iradiere. Pietrele opace, cum ar fi lapis lazuli, jasp, jad, turcoaz și ochi de tigru pot fi iradiate la 10 kGy fără nici o modificare.

7.4.5. Piele, blană și pergament

Există puține lucrări științifice dedicate decontaminării pieilor și a pergamentului prin iradiere. Acest lucru poate fi explicat prin faptul că pielea, blănurile și pergamentul nu conțin suficientă apă pentru creșterea microorganismelor. Numai un număr mic de insecte se hrănesc cu piele și pergament. Cu toate acestea, pielea în legăturile de carte, în special în legăturile de carte lemn-piele, este uneori o victimă colaterală a insectelor care se hrănesc cu adezivul și/sau lemnul deteriorând astfel și legătura de piele.

Mai multe studii s-au concentrat asupra iradierii colagenului pur datorită utilizării sale în scopuri medicale. Colagenul pur s-a dovedit a fi foarte rezistent la iradiere. Bureții de colagen (un produs medical utilizat în tratamentul rănilor) sunt sterilizați prin iradiere la doze cuprinse între 25 și 50 kGy. Același proces de sterilizare și aceleași doze sunt utilizate pentru grefele de țesut alogene păstrate după sterilizare în băncile de țesuturi [7.84, 7.85].

În lumina concluziilor favorabile obținute prin studierea iradierii colagenului pur, unele lucrări dedicate pielii și pergamentului au raportat utilizarea dozelor de radiații cu mult peste cele necesare pentru decontaminare. Două grupuri experimentale au oferit informații complementare legate de modificarea solubilității colagenului, a structurii fazei cristaline, a temperaturii de contracție și a proprietăților mecanice ale pielii și pergamentului. În 1988, Chahine și Vilmont [7.86] au prezentat o pertinentă trecere în revistă a informațiilor de mai sus. Studii mai recente au arătat că există o relație directă între degradarea pielii și temperatura de contracție [7.87]. Printre metodele acceptate de evaluare a degradării se numără măsurarea monomerilor extractibili și a taninilor [7.88]. Într-o încercare de a identifica noi metode relevante de investigare a efectelor iradierii la 10-25 kGy asupra pielii, a fost utilizată spectroscopia FTIR cu reflectanță totală atenuată [7.89]. Într-o altă lucrare recentă, s-au evaluat efectele de iradiere asupra culorii și texturii pergamentului (doze: 10 kGy până la 30 kGy). Pentru a determina duritatea și elasticitatea a fost utilizat

un analizor de textură. Modificarea culorii a fost evaluată cu ajutorul unui colorimetru electronic [7.90]. Pe baza acestor studii, s-a concluzionat că proprietățile funcționale ale pielii și pergamentului, inclusiv proprietățile estetice, sunt neesențial afectate la decontaminarea prin iradiere cu doze de până la 10 kGy.

7.4.6. Mumii și animale împăiate

Mumiile sunt corpuri moarte, umane sau de animale, ale căror țesuturi moi au fost împiedicate să se descompună, în urma unui tratament sau mediu înconjurător, care opresc biodegradarea normală. Aceasta se poate întâmpla intenționat, prin utilizarea de substanțe chimice, sau poate fi un proces natural, datorat unor condiții extreme cum ar fi îngheț, umiditate foarte scăzută sau lipsă de aer (cazul mumiilor găsite în mlaștini). Aceste condiții, care asigură echilibrul țesuturilor moi cu mediul înconjurător, nu sunt ușor de menținut, iar biodegradarea poate începe rapid dacă condițiile extreme sunt suspendate. Iradierea este o modalitate de a opri dezvoltarea degradării. Totuși, întrucât iradierea nu are efect preventiv, conservarea pe termen lung a mumiilor va depinde de găsirea unor modalități de restabilire a echilibrului și de prevenirea unui atac biologic activ ulterior.

Mai mult, iradierea gamma a fost validată ca metodă de dezinfectie a mumiilor, prin tratarea în acest mod a mumei lui Ramses II [7.91]. Înainte ca această mumie să fie tratată astfel s-a efectuat un studiu amplu cu implicarea multor laboratoare și utilizând mai mult de o sută de probe prelevate din alte mumii. A fost studiată comportarea la iradiere a multor componente, cum ar fi părul, pielea, mușchiul, osul, dinții și chiar și alte organe, cum ar fi ficatul, rinichii și inima. Alte două mumii, mai puțin prestigioase, au fost și ele iradiate în întregime pentru a fi studiate. Au fost efectuate analize mecanice și chimice direct pe fragmente și păr care aparțineau mumei lui Ramses II. Toate aceste studii au concluzionat că un tratament cu radiații gama la 18 kGy, va fi eficient și nu va modifica nici un component al mumei. Trebuie totuși menționat faptul că la momentul respectiv nu au fost luate în considerare efectele iradierii asupra informațiilor genetice. Această problemă a fost discutată deja în acest capitol, menționându-se că informațiile genetice din ADN-ul fosil nu sunt alterate prin iradiere (Capitol 7.3.1).

Prin urmare, se poate admite că iradierea gamma la doze cu efect fungicid și până la doze cu efect bactericid este un tratament adecvat pentru mumii. Aceste concluzii pot fi extinse în multe alte domenii, de exemplu la dezinfectarea oaselor arheologice și a rămășițelor animalelor cu blană.

Au fost tratate cu succes chiar și piese de taxidermie cu pene. În mai mult de 40 de ani de aplicarea a tratamentului în Franța, singura problemă întâlnită s-a referit la carcasa unei broaște țestoase care a devenit puțin maronie după iradiere. Trebuie totuși acordată o atenție deosebită iradierii pieselor împăiate la doze de dezinfecție de ~ 10 kGy sau mai mari, deoarece rășinile folosite în taxidermie și alte materiale de umplere sau de completare, utilizate atât în procesele moderne, cât și în cele mai vechi, pot fi în mod paradoxal mai sensibile decât componentele animalelor.

În cele din urmă, condițiile în care sunt ținute mumiile sau piesele de taxidermie sunt un element de importanță decisivă. Astfel de obiecte fragile trebuie să fie iradiate numai cu scopul curativ de a opri o infestare dovedită. Iar după ce infestarea a fost oprită prin iradiere, întrucât tratamentul nu va anula apetitul biodeteriogenilor pentru aceste materiale, trebuie luate măsuri de conservare preventivă.

7.4.7. Materiale organice arheologice îmbibate cu apă

După ce au fost excavate din situri arheologice și vin în contact cu aerul, materialele organice îmbibate cu apă devin foarte sensibile la creșterea microorganismelor. Pentru a preveni atacul biologic, artefactele de lemn au fost depozitate în saci de plastic și apoi iradiate gamma [7.92]. Acest tip de tratament se efectuează doar în anumite cazuri complexe. Este vorba de piese a căror sursă de contaminare biologică este situată în interiorul artefactului, deci este greu de neutralizat prin mijloace convenționale.

În studiul dezinfecției lemnului umed, doza folosită, necesară pentru a inactiva toate organismele de degradare, a fost stabilită ca fiind de 15 kGy. Piesele de mari dimensiuni sunt greu de tratat. Este necesar să se ajungă la dozele de tratament într-un timp scurt, păstrând în același timp lemnul umed. Densitatea în sine a lemnului îmbibat cu apă (practic egală cu densitatea apei), generează o ecranare semnificativă și pune dificile probleme practice în aplicarea iradierii gamma. Nu au fost

identificate modificări ale proprietăților fizice ale lemnului arheologic fie ușor degradate, fie puternic degradate, până la doza de 100 kGy. Aspectul eșantioanelor de lemn umed ușor sau puternic degradat, nu a fost afectat de iradierea gamma la doze de până la 250 kGy. Piesele împachetate și apoi tratate nu necesită un mediu de stocare special; ambalajul însă trebuie să rămână intact, pentru a preveni recolonizarea cu biodeteriogeni și totodată pentru a nu se usca.

7.4.8. Materiale fotografice

În hârtia și pelicula fotografică clasică, imaginea este formată din particule de argint sau de coloranți, distribuite fin în unul sau mai multe straturi de gelatină.

Gelatina este o substanță hidrofilă, transparentă și incoloră, obținută din colagenul aflat în piele, oase și alte țesuturi animale. Datorită proprietăților mecanice foarte slabe, gelatina a fost plasată pe un suport de hârtie în cazul fotografiilor sau de material plastic în cazul filmului.

Figura 7.7 arată un exemplu de diferite straturi prezente în materiale fotografice. În general, acestea includ substratul sau stratul suport, un strat adeziv și stratul sau stratele ce conțin imaginea. Când stratul suport este din polimer sintetic (cazul peliculei), mai există și un strat anti-halo.

Image layer: 5–20 μm
Adhesive layer
Carrier (cellulose acetate): 80–300 μm
Anti-halo layer

FIG.7.7. Straturi diferite în materiale fotografice

În condiții normale de depozitare, materialele fotografice sunt stabile. Dar gelatina este higroscopică, ceea ce face ca aceste materiale să fie amenințate de biodegradare, în special prin atac fungic. O situație de urgență poate fi declanșată, spre exemplu, de inundații. Acesta a fost cazul

Arhivei Naționale de Film din România, o poveste detaliată în Capitolul 13. Cu această ocazie au fost întreprinse teste de evaluare a efectelor colaterale. Acestea au vizat atât caracteristicile stratului de gelatină (schimbări de culoare, îmbătrânire), cât și cele ale suportului de material plastic (teste mecanice, distanța dintre găuri, identificarea radicalilor liberi trapați). Testele au demonstrat că decontaminarea prin iradiere utilizând doze relativ mari ($D_{\min} = 25\text{kGy}$; $D_{\max} = 50\text{kGy}$), au produs efecte colaterale acceptabile (de exemplu modificări mecanice $<6\%$). Experimentele și tratamentul de decontaminare au fost efectuate numai pe peliculă cu suport poliester [7.93].

Havermans și Abdul Aziz au efectuat diferite experimente pentru a studia efectele iradierii gamma asupra stabilității materialelor fotografice [7.94].

Întrucât era de așteptat să apară delaminare datorită iradierii, au fost efectuate teste de delaminare, așa cum se arată în Figura 7.8. Testele de tracțiune au fost efectuate prin tragerea „limbii” din stratul purtător de imagine. În acest caz suportul a fost de hârtie. Au fost fabricate fotografiile color și supuse la doze de iradiere gamma de 0, 6, 10 și 60kGy. Materialele și tehnicile folosite pentru a crea fotografiile care au fost testate au fost alese în conformitate cu instrucțiunile interne ale atelierului de conservare al Nederlands Fotomuseum din Rotterdam.

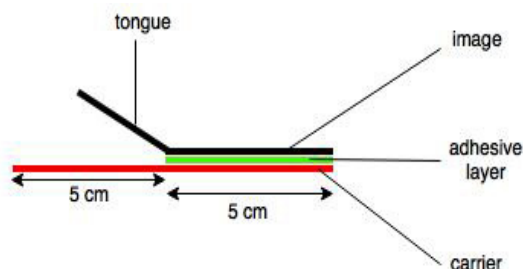


FIG. 7.8. Aranjament experimental pentru măsurarea delaminării. Echipamentul de încercare la tracțiune a fost plasat pe „limbă” (creată artificial pe eșantionul materialului fotografic) și pe stratul suport de hârtie.

Rezultatele au arătat că rezistența la rupere obținută la tragerea limbii purtătorului, a crescut cu creșterea dozei, ceea ce a arătat că, în loc să fie degradată, legătura dintre straturi s-a îmbunătățit, probabil în urma unor reacții de reticulare. În lipsa iradierii rezistența la rupere a fost de 11

N, în timp ce la o doză de 10 kGy a fost de 15 N.

A fost cercetat și efectul îmbătrânirii generat de iradiere. Eșantioanele cu imagini color au fost stocate în întuneric timp de doi ani după tratament, după care a fost măsurată densitatea de culoare folosind un densitometru din seria Macbeth TR-900, utilizat la atelierul de conservare din Nederlands Fotomuseum. A fost remarcabil că doar pentru doza cea mai mare (60 kGy) s-a observat o decolorare a artefactelor iradiate. Pentru doze de până la 10 kGy, nu s-au observat modificări semnificative ale culorilor (alb, albastru, albastru deschis, roșu, roz, galben, galben deschis, gri și negru) între artefactele iradiate și neiradiate [7.95].

7.4.9. Artă contemporană

Arta contemporană este arta creată de artiștii care trăiesc astăzi. Oamenii au încercat întotdeauna să îmbunătățească materialele naturale, inventând ceramica, sticla, bronzul, fierul, pielea tăbăcită, hârtia, betonul roman și multe altele. Astfel se poate spune că oamenii au produs și au folosit materiale noi în mod continuu. În anii 1920-1930, s-au înregistrat progrese semnificative în mai multe industrii, ceea ce a dus la dezvoltarea de materiale naturale modificate sau materiale sintetice cum ar fi cauciucul, materialele plastice, fibrele sintetice, acoperirile și adezivii [7.96]. Un număr tot mai mare de materiale noi, în principal polimeri sintetici, au fost introduse în toate domeniile vieții, inclusiv în artă. Polimerii sintetici nu sunt biodegradabili, deci nu este nevoie să le decontaminăm prin iradiere. Cu toate acestea, ele pot ajunge să fie supuse iradierii dacă fac parte din obiecte compozite. Au fost prezentate deja exemple precum polimerii din alcătuirea peliculei de film (Capitolul 7.4.8) și vopselele acrilice (Capitolul 7.4.2). Tabelul 7.2 conține câteva informații generale despre materialele polimerice identificate frecvent în obiectele de artă modernă sau contemporană.

TABEL 7.2. POLIMERI CU APARIȚIE FRECVENTĂ ÎN OBIECTE DE ARTĂ MODERNĂ SAU CONTEMPORANĂ

Polimer	Abrevierea clasică	Principalele denumiri comerciale
Triacetat de celuloză	CTA	
Nitroceluloză		Celuloid
Fenol formaldehidă	PF	Bachelită
Poliamidă 11	PA 11	Rilsan
Poliamidă 12/12	PA 12/12	
Poliamidă 6/12	PA 6/12	Nylon 6/12
Poliamidă 6/6	PA 6/6	Nylon, Technyl, Ultramid, Amilan, Durethan, Akulon, Technyl, Zytel
Policarbonat	PC	Lexan, Makrolon
Poliетенă	PE	Tyvek
Polieten tereftalat	PET	Estar, Dacron, Terylene
Poliimidă	PI	Kapton
Polimetil metacrilat	PMMA	Lucite, Perspex, Plexiglas, Altuglas, Acrylite
Polioximetilenă	POM	Delrin, Celcon
Poliparafenilen tereftalamidă		Kevlar, Twaron
Polipropilenă	PP	Hostalon
Polistiren	PS	
Politetrafluoretilenă	PTFE	Teflon, Gore-Tex, Fluon, Halon, Hostafion
Poliuretă	PUR	
Policlorură de vinil	PVC	
Celuloză regenerată	RC	Viscoza, raionul, celofanul, Lyocell, Tencel
Uree formaldehidă	UF	

Câțiva polimeri pot fi afectați de iradiere și este de dorit să nu fie iradiați [7,97, 7,98]. Acești polimeri sunt:

- nitratul de celuloză, deoarece acest polimer devine sensibil la abraziune [7.99];
- fluoropolimerii cum ar fi politetrafluoretilenă, căci prin iradiere se scindează drastic lanțul polimeric, iar proprietățile mecanice sunt puternic afectate chiar și la doze mici;
- policlorura de vinil, căci artefactele transparente pot deveni galbene, prin eliberarea de clor în sistem; proprietățile mecanice nu sunt afectate, nici la doze de sterilizare (25-50kGy);
- polipropilena și fenol formaldehida, deoarece pot apărea reacții de reticulare, în urma cărora acești polimeri devin fragili.

Modificarea proprietăților mecanice, la doza de dezinfectie de maxim 10kGy este acceptabilă la majoritatea polimerilor sintetici. Există o excepție notabilă – teflonul [7.100].

Polimerii cu cea mai mare rezistență la radiații sunt polistirenul, polietilena, poliimida și polietilentereftalatul (PET), care pot fi iradiați până la 100kGy fără efecte secundare notabile.

BIBLIOGRAFIE LA CAPITOLUL 7

- [7.1] IMLAY, J.A., LINN, S., DNA damage and oxygen radical toxicity, *Sci.* **240** (1988) 1302–1309.
- [7.2] CADET, J., et al., Hydroxyl radicals and DNA base damage, *Mutat. Res.* **424** (1999) 9–21.
- [7.3] TILQUIN, B. (Ed.), *Actions biologique et chimique des rayonnements ionisants*, Nauwelaerts, Paris (2001) 115 pp.
- [7.4] BORRELY, S.I., CRUZ, A.C., DEL MASTRO, N.L., SAMPA, M.H.O., SOMESARI, E.S., Radiation processing of sewage and sludge: A review, *Prog. Nucl. Energy* **33** (1998) 3–21.
- [7.5] APARECIDA DA SILVA AQUINO, K., “Sterilization by gamma irradiation”, *Gamma Radiation* (ADROVIC, F., Ed.), InTech, Rijeka, Croatia (2012) 171–206.
- [7.6] YANG, E., *Oxygen Delignification: The Role of Hydroxyl and Superoxide Radicals*, Royal Institute of Technology, Stockholm (1995).
- [7.7] KOPPENOL, W.H., Names for Inorganic Radicals (IUPAC Recommendations 2000), *Pure Appl. Chem.* **72** (2000) 437–446.
- [7.8] RICHARDSON, G., EICK, S.A., HARWOOD, D.J., ROSÉN, K.G., DOBBS, F., Negative air ionisation and the production of hydrogen peroxide, *Atmospheric Environ.* **37** (2003) 3701–3706.

- [7.9] LIU, Linmao, GUO, Jingfu, LI, Jie, SHENG, Lianxi, The effect of wire heating and configuration on ozone emission in a negative ion generator, *J. Electrostat.* **48** (2000) 81–91.
- [7.10] RESHETNYAK, O.V., KOVAL'CHUK, E.P., SKURSKI, P., RAK, J., BLAZEJOWSKI, J., The origin of luminescence accompanying electrochemical reduction or chemical decomposition of peroxydisulfates, *J. Lumin.*, **105** (2003) 27–34.
- [7.11] PUSEY, W.A., Roentgen rays in the treatment of skin diseases and for the removal of hair, *J. Cutan. Genitourin. Dis.* **18** (1900) 302–315.
- [7.12] MacKEE, G.M., X-rays and Radium in the Treatment of Diseases of the Skin, Lea & Febiger, Philadelphia, PA (1921).
- [7.13] SHAPIRO, J., Radiation Protection: A Guide for Scientists and Physicians, Harvard University Press, Cambridge, MA (1990).
- [7.14] ERWIN, T.L., Tropical forest canopies: The last biotic frontier, *Bull. Entomol. Soc. Am.* **29** (1983) 14–19.
- [7.15] CHANTER, D.O., HEYWOOD, R., The *LD50* test: Some considerations of precision, *Toxicol. Lett.* **10** (1982) 303–307.
- [7.16] MAGAUDDA, G., ADAMO, M., ROCCHETTI, F., Damage caused by destructive insects to cellulose previously subjected to gamma-ray irradiation and artificial ageing, *Restaurator* **22** (2001) 242–250.
- [7.17] RAMIERE, R., “Protection de l’environnement culturel par les techniques nucléaires”, Proc. Int. Conf. Industrial Application of Radioisotopes and Radiation Technology Grenoble, 1981, IAEA, Vienna (1982) 255–270.
- [7.18] DION, P., CHARBONNEAU, R., THIBAUT, C., Effect of ionizing dose rate on the radioresistance of some food pathogenic bacteria, *Can. J. Microbiol.* **40** (1994) 369–374.
- [7.19] FARKAS, J., MOHÁCSI-FARKAS, C., History and future of food irradiation, *Trends Food Sci. Technol.* **22** (2011) 121–126.
- [7.20] HILSEN, R.E., KOURNIKAKIS, B., FORD, B., Inactivation of Microorganisms by Gamma Irradiation: Bacillus Atropheus spores and Erwinia herbicola, Defence Research and Development Canada, Suffield, Canada (2005) 24 pp.
- [7.21] COUNCIL OF EUROPE, European Pharmacopoeia, 8th edn, Council of Europe, Strasbourg (2014).
- [7.22] MANTESCU, C., CONSTANTINESCU, O., *Chimia radiatiilor*, Brosata, Bucharest (1969).
- [7.23] FUJIMURA, T., HAYAKAWA, N., KURIYAMA, I., Trapping regions for allyl radicals in irradiated polyethylene, *J. Polym. Sci.: Polym. Phys. Ed.* **16** (1978) 945–948.
- [7.24] DOWNS, J.C.U., et al., “Nuclear and mitochondrial DNA analyses following X- and gamma-irradiation”, Proc. Ann. Mtg American Academy of Forensic Sciences Atlanta, 2002, Vol. 8 (2002) 207–208.

- [7.25] JONES, S.W., et al., “Decontamination of human autopsy specimens by ^{60}Co gamma-photon irradiation and human DNA identification by short tandem repeat analysis of irradiated tissues”, Proc. Ann. Mtg American Academy of Forensic Sciences Dallas, 2004, Vol. 10 (2004) 37–38.
- [7.26] WITHROW, A.G., SIKORSKY, J., UPSHAW DOWNS, J.C.U., FENGER, T., Extraction and analysis of human nuclear and mitochondrial DNA from electron beam irradiated envelopes, *J. Forensic Sci.* **48** (2003) 1302–1308.
- [7.27] GŁUSZEWSKI, W., ZAGÓRSKI, Z.P., TRAN, Q.K., CORTELLA, L., Maria Skłodowska Curie: The precursor of radiation sterilization methods, *Anal. Bioanal. Chem.* **400** (2011) 1577–1582.
- [7.28] SJÖSTRÖM, E., *Wood Chemistry: Fundamentals and Applications*, 2nd edn, Academic Press, San Diego, CA (1993).
- [7.29] FENGEL, D., WEGENER, G., *Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions*, Walter de Gruyter, Berlin (1989).
- [7.30] HAVERMANS, J.B.G.A., “Infrared spectroscopy as a tool for characterisation of paper and paper deterioration”, *Environmental Influences on the Deterioration of Paper*, PhD Thesis, Delft Univ. of Technology (1995) 43–76.
- [7.31] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, EN 1787, *Food-stuffs: Detection of irradiated food containing cellulose by ESR-spectroscopy*, Nederlandse Normalisatie Instituut, Delft (2000) 8 pp.
- [7.32] YOUNG, A.R., ROWELL, R.M., *Cellulose: Structure, Modification, and Hydrolysis*, Wiley, New York (1986).
- [7.33] DUFOUR, J., HAVERMANS, J.B.G.A., VINK, P., A new equipment for the accelerated photo-ageing testing of paper samples, *Afinidad* **57** (2000) 143–151.
- [7.34] HAVERMANS, J.B.G.A., DUFOUR, J., Photo oxidation of paper documents: A literature review, *Restaurator* **18** (1997) 103–114.
- [7.35] RYCHLÝ, J., STRLIČ, M., MATISOVÁ-RYCHLÁ, L., KOLAR, J., Chemiluminescence from paper I: Kinetic analysis of thermal oxidation of cellulose, *Polym. Degrad. Stab.* **78** (2002) 357–367.
- [7.36] KOLAR, J., Mechanism of autoxidative degradation of cellulose, *Restaurator* **18** (1997) 163–176.
- [7.37] KOČAR, D., STRLIČ, M., KOLAR, J., RYCHLÝ, J., MATISOVÁ-RYCHLÁ, L., PIHLAR, B., Chemiluminescence from paper III: The effect of superoxide anion and water, *Polym. Degrad. Stab.* **88** (2005) 407–414.
- [7.38] KOČAR, D., STRLIČ, M., KOLAR, J., ŠELIH, V.S., PIHLAR, B., Peroxidere-lated chemiluminescence of cellulose and its self-absorption, *Polym. Degrad. Stab.* **93** (2008) 263–267.
- [7.39] RITSCHKOFF, A.C., MAHLBERG, R., “Fate and biotransformation of biocides: A way to acceptable chemical wood preservation”, Proc. COST E22 Working Group 1 Mtg Reinbek, 2001, COST, Brussels (2001).
- [7.40] ILLMAN, B.L., MEINHOLZ, D.C., HIGHLEY, T.L., Oxygen free radical detection on wood colonized by the brown-rot fungus, *postia placenta*, *Biodeterior. Res.* **2** (1989) 497–509.

- [7.41] HON, D.N.S., Photooxidative degradation of cellulose: Reactions of the cellulosic free radicals with oxygen, *J. Polym. Sci.* **17** (1979) 441–454.
- [7.42] HON, N.S., Formation of free radicals in photoirradiated cellulose and related compounds, *J. Polym. Sci.* **14** (1976) 2513–2525.
- [7.43] STEELINK, C., “Stable free radicals in lignin and lignin oxidation products”, *Lignin Structure and Reactions* (MARTON, J., Ed.), American Chemical Society, Washington, DC (1966) 51–64.
- [7.44] GARCÍA, A., GONZÁLEZ ALRIOLS, M., SPIGNO, G., LABIDI, J., Lignin as natural radical scavenger: Effect of the obtaining and purification processes on the antioxidant behaviour of lignin, *Biochem. Eng. J.* **67** (2012) 173–185.
- [7.45] SEVERIANO, L.C., LAHR, F.A.R., BARDI, M.A.G., SANTOS, A.C., MACHADO, L.D.B., Influence of gamma radiation on properties of common Brazilian wood species used in artwork, *Prog. Nucl. Energy* **52** (2010) 730–734.
- [7.46] HAVERMANS, J., ABDUL AZIZ, H., DE BRUIN, G., Improvements of the occupational health at disinfection of archival and library materials using gamma radiation, *International Conf. Healthy Air-Better Work 2007 (WorkAir 2007)* Helsinki, 2007, Finnish Society of Indoor Air Quality and Climate (2007).
- [7.47] PAVON FLORES, S.C., Gamma radiation as fungicide and its effects on paper, *Bull. Am. Inst. Conserv. Hist. Artist. Work.* **16** (1975) 15–44.
- [7.48] HORAKOVA, H., MARTINEK, F., Disinfection of archive documents by ionizing radiation, *Restaurator* **6** (1984) 205–216.
- [7.49] BUTTERFIELD, F., The potential long term effects of gamma irradiation on paper, *Stud. Conserv.* **32** 4 (1987) 181–191.
- [7.50] HOFENK DE GRAAFF, J.H., ROELOFS, W.G.T., DE GROOT, S., VAN BOMMEL, M., Onderzoek naar de invloed van respectievelijk Ethyleenoxide en Gammastralen op de veroudering van papier, *Centraal Laboratorium voor Onderzoek van Voorwerpen van Kunst en Wetenschap*, Amsterdam (1992).
- [7.51] SINCO, P., The use of gamma rays in book conservation, *Nucl. News* **43** 5 (2000) 38–40.
- [7.52] BACCARO, S., CAREWSKA, M., CASIERI, C., CEMMI, A., LEPORE, A., Structure modifications and interaction with moisture in γ -irradiated pure cellulose by thermal analysis and infrared spectroscopy, *Polym. Degrad. Stab.* **98** (2013) 2005–2010.
- [7.53] FLIEDER, F., RAMIÈRE, R., LEROY, M., RAKOTONIRAINY, M., DESCALLE, P., “Recherches sur l’effet du rayonnement gamma pour la désinfection des papiers”, *Environnement et conservation de l’écrit, de l’image et du son*, Actes des deuxièmes journées internationales d’études de l’ARSAG, Paris, 1994, Association pour la recherche scientifique sur les arts graphiques (1994) 79–86.
- [7.54] MOISE, I.V., STANCULESCU, I., MELTZER, V., Thermogravimetric and calorimetric study of cellulose paper at low doses of gamma irradiation, *J. Therm. Anal. Calorim.* **115** (2014) 1417–1425.
- [7.55] ADAMO, M., et al., Gamma radiation treatment of paper in different environmental conditions: Chemical, physical and microbiological analysis, *Restaurator* **22** (2001) 107–131.

- [7.56] ADAMO, M., MAGAUDDA, G., Susceptibility of printed paper to attack of chewing insects after gamma irradiation and ageing, *Restaurator* **24** (2003) 95–105.
- [7.57] ADAMO, M., JOVANOTTI, G., MAGAUDDA, M., PLOSSI ZAPPALA, M., ROCCHETTI, F., ROSSI, G., Effect of gamma rays on pure cellulose paper as a model for the study of treatment of biological recovery of biodeterioration books, *Restaurator* **19** (1998) 41–59.
- [7.58] AREA, M.C., CALVO, A.M., FELISSIA, F.E., DOCTERS, A., MIRANDA, M.V., Influence of dose and dose rate on the physical properties of commercial papers commonly used in libraries and archives, *Radiat. Phys. Chem.* **96** (2014) 217–222.
- [7.59] HAVERMANS, J.B.G.A., “Gamma disinfection of ligno cellulose historical collections”, *New Approaches to Book and Paper Conservation-Restoration* (ENGEL, P., SCHIRO, J., LARSEN, R., MOUSSAKOVA, E., KECSKEMETI, I., Eds), Verlag Berger Horn, Vienna (2011) 559–575.
- [7.60] HAVERMANS, J., “Verantwoord desinfecteren van bibliotheek — en archiefcollecties met gammastralen”, *Les moisissures, un ennemi invincible? Decontamination et prévention* (LIBERT, M., Ed.), Archives et Bibliothèques de Belgique, Brussels (2013) 6–19.
- [7.61] HAVERMANS, J.B.G.A., GENUIT, W., PENDERS, N.J.M.C., BUISSON, N., “Emission of volatile organic compounds from deacidified paper”, *Proc. Int. Conf. Indoor Air Quality Climate*, Copenhagen, 2008, Technical University of Denmark, Copenhagen (2008) 393–399.
- [7.62] MOISE, I.V., et al., Establishing the irradiation dose for paper decontamination, *Radiat. Phys. Chem.* **81** (2012) 1045–1050.
- [7.63] MICHAELSEN, A., PINZARI, F., BARBABIETOLA, N., PIÑAR, G., Monitoring the effects of different conservation treatments on paper-infecting fungi, *Int. Biodeterior. Biodegrad.* **84** (2013) 333–341.
- [7.64] RUTHERFORD, H.A., *Radiation Effects on Organic Materials*, Academic Press, London (1963).
- [7.65] SLUIJS, M.H.V.D., CHURCH, J.S., The effect of quarantine-level gamma irradiation on cotton fiber and its subsequent textile processing performance, *Text. Res. J.* **83** (2013) 197–207.
- [7.66] GEBA, M., et al., Gamma irradiation of protein-based textiles for historical collections decontamination, *J. Therm. Anal. Calorim.* **118** (2014) 977–985.
- [7.67] HORIO, M., OGAMI, K., KONDO, T., SEKIMOTO, K., Effect of gamma irradiation upon wool fibers, *Bull. Inst. Chem. Res.* **41** (1963) 1–9.
- [7.68] MILLINGTON, K., Comparison of the effects of gamma and ultraviolet radiation on wool keratin, *Color. Technol.* **116** (2000) 266–272.
- [7.69] TSUKADA, M., FREDDI, G., MINOURA, N., Changes in the fine structure of silk fibroin fibers following gamma irradiation, *J. Appl. Polym. Sci.* **51** (1994) 823–829.

- [7.70] NEGUT, D.C., PONTA, C.C., GEORGESCU, R.M., MOISE, I.V., NICULESCU, G., LUPU, A.I.M., “Effects of gamma irradiation on the colour of pigments”, Proc. Conf. O3A: Optics for Arts, Architecture, and Archaeology, Munich, 2007 (FOTAKIS, C., PEZZATI, L., SALIMBENI, R., Eds), Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, Bellingham, WA (2007).
- [7.71] M’GARRECH, S., NCIB, F., Colorimetric study of effect of gamma-radiation on the color of cotton fabric colored by “henna” dye, *Appl. Radiat. Isot.* **67** (2009) 2003–2006.
- [7.72] ROWE, S., The effect of insect fumigation by anoxia on textiles dyed with Prussian blue, *Stud. Conserv.* **49** (2004) 259–270.
- [7.73] KORNBERG, C., The photo-ageing behaviour of selected watercolour paints under anoxic conditions, *Br. Mus. Tech. Bull.* **2** (2008) 49–57.
- [7.74] TOWNSEND, J.H., THOMAS, J., HACKNEY, S., LERWILL, A., The benefits and risks of anoxic display for colorants, *Conservation and Access: Contributions to the 2008 IIC Congress*, London, IIC (2008) 76–81.
- [7.75] ABDEL-HALIEH, M.E.F., ALI, M.F., GHALY, M.F., SAKR, A.A., Efficiency of antibiotics and gamma irradiation in eliminating *Streptomyces* strains isolated from paintings of ancient Egyptian tombs, *J. Cult. Herit.* **14** (2013) 45–50.
- [7.76] ROSSI-DORIA, R.P., TABASSO LAURENZI, M., “Controllo degli effetti collaterali della radiazione gamma su colle e pigmenti”, *Atti dei convegni lincei 11, Congresso Internazionale Applicazione dei metodi nucleari nel campo delle opere d’arte*, Accademia Nazionale dei Lincei, Rome (1976).
- [7.77] Research results in 2013, ARC-Nucléart, Grenoble (2013).
- [7.78] VERDU, J., KLEITZ, M.O., DIJOU, F., VALOT, H., “Le rayonnement gamma et la désinfection des sculptures polychromes”, *La conservation du bois dans le patrimoine culturel, Journées d’Etudes de la SFICC, Besançon-Vesoul, 1990*, SFICC, Champs-sur-Marne, France (1990) 63–80.
- [7.79] FUOCHI, P., et al., Dosimetric properties of gamma- and electron-irradiated commercial window glasses, *Nukleonika* **54** (2009) 39–43.
- [7.80] NUNES, E.H.M., LAMEIRAS, F.S., The optical absorption of gamma irradiated and heat-treated natural quartz, *Mater. Res.* **8** (2005) 305–308.
- [7.81] ENOKIHARA, C.T., RELA, P.R., GUTTLER, R.A.S., “Gamma irradiation of quartz from Pannier basin, South America”, *Proc. INAC 2007 Int. Nuclear Atlantic Conf. Nuclear Energy and Energetic Challenges for 21st Century*, Associação Brasileira de Energia Nuclear, Santos, Brazil (2007).
- [7.82] NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, *Gemstones* (2014), <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/irradiated-gemstones.html>
- [7.83] OMI, N.M., RELA, P.R., *Gemstone dedicated gamma irradiator development*, *Proc. INAC 2007 Int. Nuclear Atlantic Conf. Nuclear Energy and Energetic Challenges for 21st Century*, Associação Brasileira de Energia Nuclear, Santos, Brazil (2007).
- [7.84] NATHER, A., YUSOF, N., HILMY, N., *Allograft Procurement, Processing and Transplantation: A Comprehensive Guide for Tissue Banks*, World Scientific Publishing, Singapore (2010).

- [7.85] NATIONAL BLOOD SERVICE, Guidelines for the Blood Transfusion Services in the United Kingdom, 8th edn, The Stationery Office, London (2013).
- [7.86] CHAHINE, C., VILMONT, L.B., “Effet du rayonnement gamma sur le cuir et le parchemin”, Patrimoine culturel et altérations biologiques: actes des journées d'études de la Section française de l'institut international de conservation, SFI-IC, Poitiers, France (1988) 97–107.
- [7.87] LARSEN, R., STEP Leather Project: Evaluation of the Correlation between Natural and Artificial Ageing of Vegetable Tanned Leather and Determination of Parameters for Standardization of an Artificial Ageing Method, Protection and Conservation of European Cultural Heritage Research Rep. No. 1, Bjarnholt Repro, Copenhagen (1994) 180.
- [7.88] TEPER, J.H., “Animal Skin/Leather”, Book Conservation Wiki, American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works Series (2014), http://www.conservation-wiki.com/wiki/Books_Section_4_-_Material_-_Chapter_1_Animal_Skin/Leather
- [7.89] STĂNCULESCU, I., MOISE, V., CORTELLA, L., QUOC-KHÔI, T., “Decontamination of textile, leather and parchment artefacts by gamma irradiation”, Proc. 3rd Int. Seminar and Workshop on Emerging Technology and Innovation for Cultural Heritage, Advanced Technology for Diagnosis, Preservation and Management of Historical and Archaeological Parchment, Leather and Textile Artefacts, ASTRA Centre for Heritage, Sibiu, Romania (2014) 52–55.
- [7.90] NUNES, I., et al., Gamma radiation effects on physical properties of parchment documents: Assessment of D_{max} , Radiat. Phys. Chem. **81** (2012) 1943–1946.
- [7.91] BALOUT, L., ROUBET, C., DESROCHES-NOBLECOURT, C., La momie de Ramsès II: contribution scientifique à l'égyptologie, Editions Recherche sur les civilisations, Paris (1985) 432 pp.
- [7.92] POINTING, S., JONES, E.B.G., JONES, A.M., Decay prevention in waterlogged archaeological wood using gamma irradiation, Int. Biodeterior. Biodegrad. **42** (1998) 17–24.
- [7.93] MITRAN, A., PONTA, C.C., DANIS, A., “Traitement antimicrobien des films cinématographiques au moyen du rayonnement gamma”, La conservation à l'ère du numérique, Actes des quatriemes journées internationales d'études de l'ARSAG, Groupe Lienhart Press, Paris (2002) 235–248.
- [7.94] HAVERMANS, J., ABDUL AZIZ, S., Gezondere verwerking en duurzamere opslag van archivalia middels Gamma-doorstraling — Fase-2, TNO Build Environment and Geoscience, Delft (2009) 60.
- [7.95] HAVERMANS, J., Post Ageing effect van bestraalde fotografische materialen, Gamma Desinfectierapport 3, TNO Building Materials, Section on Conservation Science, Delft (2011) 25.
- [7.96] RODRIGUEZ, F., Principles of Polymer Systems, 2nd edn, McGraw-Hill, Singapore (1985).
- [7.97] GUEVEN, O., “An overview of current developments in applied radiation chemistry of polymers”, Advances in Radiation Chemistry of Polymers, IAEA-TEC-DOC-1420, IAEA, Vienna (2004) 33–38.

- [7.98] CZVIKOVSKY, T., “Degradation effects in polymers”, *Advances in Radiation Chemistry of Polymers*, IAEA-TECDOC-1420, IAEA, Vienna (2004) 91–102.
- [7.99] ZAMANI, M., SAVIDES, E., CHARALAMBOUS, S., The response of cellulose nitrate to gamma radiation, *Nucl. Tracks* **4** (1980) 171–176.
- [7.100] DROBNY, J.G., *Ionizing Radiation and Polymers*, 1st edn, William Andrew Publishing, Norwich, NY (2013).

Capitolul 8

DEZINFECȚIA PRIN IRADIERE A ARTEFACTELOR CULTURALE

C.C. PONTA

Centrul de Iradiere Tehnologice IRASM,
Institutul Național de Fizică și Inginerie Nucleară HORIA HULUBEI,
Măgurele – Ilfov, România
Email: cponta2013@gmail.com

J.B.G.A. HAVERMANS

TNO Environmental Modelling, Sensing and Analysis,
Bergen op Zoom, Netherlands

J.L. BOUTAINE

Centre de recherche et de restauration des Musées de France,
Paris, France

8.1. INTRODUCERE

Aspectele fundamentale ale dezinfecției sau decontaminării artefactelor culturale prin iradiere au fost discutate pe larg în capitolele anterioare. Acest capitol cuprinde informații despre aspectele pragmatice ale tratamentului – doza de iradiere, dozimetria, uniformitatea dozei, echipamentul de iradiere, rolul celor implicați et al. Uneori recomandările generale de aplicare a dezinfecției prin iradiere nu sunt suficiente, iar decidenții trebuie să hotărască dacă sunt necesare investigații suplimentare sau să aleagă condițiile de tratament. De aceea sunt reluate pe scurt unele noțiuni sub formă de întrebări și răspunsuri, astfel încât chiar și cititorul care a parcurs cartea pe sărite, să aibă un minim de înțelegere a fenomenului și a aspectelor concrete de aplicare a tratamentului.

Întrebare: Ce este iradierea?

Răspuns: Iradierea este un transfer de energie de la radiațiile ionizante la materialul iradiat.

Întrebare: Este radiația periculoasă pentru sănătate?

Răspuns: Radiațiile ionizante au potențialul de a provoca daune organismelor vii în cazul unor expuneri excesive. S-a stabilit științific că răspunsul biologic este proporțional cu doza.

Întrebare: Deci, materialele nu vor deveni radioactive după tratament?

Răspuns: Într-adevăr, materialele rămân la fel ca înainte de tratamentul cu radiații, numai că sunt decontaminate. Materialele tratate nu vor deveni radioactive și nu vor iradia persoanele care le manipulează. Pe lângă faptul că sunt folosite pentru dezinfecție, radiațiile ionizante – razele X și gamma, sunt utilizate curent în medicină – radioterapie, radiografie cu radiații X sau gamma pentru identificarea nedistructivă a discontinuităților ascunse în piese industriale, în orice alte artefacte, sau corpuri.

Întrebare: Ce se întâmplă cu materialele supuse unui tratament de iradiere?

Răspuns: Energia transferată poate modifica structura materialului la nivel molecular. Efectele de iradiere depind de legăturile chimice existente în materialul iradiat. În metale și materiale anorganice, în care legăturile chimice sunt de tip metalic sau electrostatic, efectul primar al iradierii este încălzirea; în anumite situații pot apărea modificări de culoare. Efectul este comparabil cu încălzirea alimentelor într-un cuptor cu microunde. În substanțele organice, caracterizate prin legături covalente, iradierea poate cauza ruperea legăturilor chimice. Cu cât este mai complexă molecula, cu atât crește șansa să conțină legături mai fragile. De exemplu, bazele purinice și pirimidinice din macromolecula foarte complexă a ADN-ului sunt rupte la doze relativ mici, ansamblul molecular fiind mai afectat decât macromolecula, mai simplă, a celulozei.

Întrebare: Iradierea va rupe doar legăturile chimice din fungi și insecte?

Răspuns: Substanțele organice sunt prezente atât în artefacte cât și în contaminanții vii ai acestora; prin urmare, modificările moleculare vor apare în ambele componente ale tandemului, dar toate efectele depind de doza de iradiere. Aceeași doză afectează diferit molecule diferite. Pe această diferență se bazează utilizarea iradierii pentru dezinfecția artefactelor culturale.

Întrebare: La artefactele vechi și/sau deja degradate, degradarea se va accentua prin iradiere?

Răspuns: Aceasta depinde de doza de radiații. Doza de maxim 10 kGy

distruge biodeteriogenii, fără a afecta artefactele, în majoritatea covârșitoare a cazurilor. Iradierea contribuie mai puțin la deteriorare decât mucegaiul sau insectele.

Întrebare: În ce unități de măsură se exprimă doza de iradiere?

Răspuns: Doza de iradiere cuantifică transferul de energie în timpul iradierii. Se măsoară în unități numite gray (Gy). Pentru *dezinfecția* artefactelor culturale dozele folosite sunt de ordinul kGy (kilogray).

Întrebare: Ce se poate spune despre efectele colaterale iradierii?

Răspuns: Intensitatea tuturor efectelor – dezinfecția și efectele colaterale, este dependentă de doză. Dezinfecția prin iradiere a patrimoniului cultural este o metodă de intervenție acceptabilă, deoarece dozele pentru dezinfecție sunt mai mici decât dozele care produc efecte colaterale semnificative.

8.2. DOZELE DE TRATAMENT RECOMANDATE

Există două niveluri diferite de doză care pot fi recomandate în tratamentul de iradiere: unul pentru insecte și altul pentru mucegai. Doza pentru dezinfecția insectelor este mai mică decât cea pentru mucegai. Aceasta se bazează pe diferența în complexitatea speciilor.

În situații excepționale se aplică doze excepționale.

8.2.1. Insecte

Doza de tratament recomandată în cazul unui atac al insectelor este, de preferință, 0,5 kGy, dar unii o extind până la 2 kGy. Această doză este eficientă și pentru eradicarea ouălor de insecte.

Există câteva elemente pe care trebuie să le avem în minte atunci când se utilizează un tratament de iradiere pentru eradicarea insectelor:

- Tratamentul cu 2kGy este recomandat pentru mobilierul care a fost depozitat în condiții necorespunzătoare pentru o perioadă relativ scurtă de timp; recomandare pentru zone cu climat temperat.
- Dacă condițiile de mediu sunt necontrolate, un atac fungic poate apărea simultan cu un atac de insecte. O doză de 2 kGy este prea mică pentru dezinfecția tuturor tipurilor de ciuperci; unele ciuperci pot

rămâne și chiar formează o bază pentru o nouă infestare cu insecte. De aceea, utilizarea de 2kGy nu este recomandată dacă artefactele sunt reintroduse după tratament într-un mediu necontrolat. Biserici-le sunt un exemplu de mediu necontrolat.

- Există un risc serios ca un tratament de 2kGy să nu fie eficient în zone climatice calde și umede. În astfel de climă toate insectele sunt foarte agresive, dar pericolul major îl prezintă termitelile. Acestea au un sistem de hrănire bazat pe o relație simbiotică cu anumite microorganisme.

8.2.2. Mucegaiuri și tratament general

Doza de tratament de maxim 10 kGy poate fi văzută ca o doză de referință pentru dezinfecția generală a artefactelor culturale. La acest nivel de doză, are loc și eradicarea ciupercilor. Există câteva elemente care trebuie avute în vedere în practica curentă:

- Dacă se tratează simultan un ansamblu de artefacte, doza administrată unui lot de materiale trebuie văzută ca o doză medie. Doza pe care o primește fiecare piesă din lot, depinde de omogenitatea densității lotului. Materialele mai dense nu trebuie combinate în același lot cu materiale ușoare. Trebuie făcută o sortare după densitatea pieselor.
- Doza de 10 kGy trebuie considerată ca maximă. Pe baza mapării dozimetrice și a densității componentelor lotului, se va stabili o geometrie de iradiere și un timp de tratament care să conducă la o doză medie de 8 ± 2 kGy. Această doză este suficientă pentru a eradica insectele și fungii și va avea efecte colaterale minore asupra materialelor iradiate.
- Cu toate ca există doze recomandate, pe baza experienței lor, conservatorul și personalul instalației de iradiere pot decide să utilizeze o altă doză medie, dacă este cazul. Această doză poate fi mai mică sau mai mare decât doza recomandată.

În cazul artefactelor supuse inundațiilor, există câteva considerații suplimentare:

- Microorganismele, mai ales ciupercile, se dezvoltă exploziv în condiții de umiditate excesivă. Acest lucru se întâmplă frecvent în cazul unor artefacte care au fost inundate și care au rămas după catastrofă cu un conținut ridicat de umiditate. De asemenea, condițiile de depozitare între momentul inundării și tratament favorizează creșterea fungilor. Destinul cărților inundate urmează uneori acest scenariu nefericit. În aceste cazuri trebuie utilizată doza maximă de 10kGy.
- O doză mai mare de 10kGy poate fi luată în considerare în situații speciale. Exemplele prezentate în studiile de caz (Capitolele 10-26) demonstrează utilitatea excepțională a dezinfectiei prin iradiere în cazuri speciale (inundații, război, condiții necorespunzătoare de depozitare).

8.3. PRECIZĂRI PRIVIND STABILIREA DOZEI DE TRATAMENT

În multe cazuri, artefactele sunt aduse la iradiator în grupuri ce urmează să fie iradiate simultan. Indiferent de tipul de iradiator folosit pentru dezinfecție, obiectele din aceeași șarjă vor primi doze diferite. Geometria de iradiere (distanța între sursa de iradiere și obiect), diferă de la obiect la obiect. Ecranarea, uneori chiar densitatea obiectelor ce alcătuiesc șarja este diferită. Toate contribuie la faptul inevitabil, că artefactele iradiate simultan primesc doze diferite. De asemenea, în cazul obiectelor de mari dimensiuni, există diferențe de expunere între diferite părți ale aceluiași obiect. Dacă dispersia dozelor nu se poate evita, ea poate fi optimizată. Doza minimă trebuie să asigure dezinfectia, iar doza maximă nu trebuie să depășească valoarea la care efectele colaterale devin inacceptabile.

Proiectarea tratamentului are în prim plan activități dozimetrice. Dozimetristul poate estima prin calcul și desigur poate măsura, poziția și valoarea D_{\min} și D_{\max} . Valorile D_{\min} și D_{\max} depind una de cealaltă pentru o anumită geometrie a iradierii. Desigur timpul de iradiere este ales astfel încât să se obțină o doză minimă eficientă. Aceasta va avea ca rezultat o valoare a dozei maxime care nu poate fi modificată independent. Tratamentul este validat după compararea acesteia cu valoarea dozei acceptabile.

Atunci când artefactul este agabaritic și/sau când densitatea sa este

mare (de exemplu un compozit cu metal), D_{\max} poate rezulta inacceptabil de mare. În aceste situații, iradierea trebuie programată în două sau mai multe geometrii de iradiere. Prin urmare, estimările, calculele și deciziile care trebuie luate înainte de iradiere necesită timp și efort.

Este important ca estimările dozimetrice să fie confirmate prin măsurători dozimetrice. Vor fi atașate dozimetre în puncte geometrice critice ale artefactului sau ale șarjei. Desigur, dozimetrele vor rămâne atașate acelor puncte în timpul iradierii. Dacă tratamentul presupune mai multe geometrii de iradiere, se vor face citiri intermediare, dozimetrele replasându-se apoi în aceleași puncte. Valorile măsurate sunt înregistrate în certificatul de tratament.

În toate cazurile, tratamentul prin iradiere implică trei etape:

- estimarea dozei;
- iradierea;
- verificarea dozelor primite efectiv.

Testele microbiologice cantitative privind artefactele de patrimoniu cultural, pot fi doar superficiale, căci altfel ar distruge artefactul. De aceea au o utilitate limitată rezultatele disponibile în literatură, ce descriu relația dintre doza aplicată și efectul biocid. În toate cazurile practice, este suficient să se știe că valoarea D_{10} pentru majoritatea microorganismelor care afectează artefactele patrimoniului cultural se situează în intervalul de 0,1 până la 1,0kGy. De aici rezultă că doza de iradiere de 6kGy va micșora numărul fungilor de un milion de ori – 10^6 , iar 8kGy corespunde unei reduceri de o sută de milioane – 10^8 .

8.4. ALTE PRECAUȚII ȘI CONSIDERAȚII

Odată ce a fost luată decizia de utilizare a iradierii pentru dezinfecția artefactelor culturale, trebuie luate în considerare următoarele aspecte:

- *Cunoașterea instalației de iradiere.* Persoana ce va căpăta responsabilitatea efectuării tratamentului, trebuie să cunoască bine capacitățile tehnologice ale instalației și toate limitările tehnice ale iradiatorului. Numai în acest fel poate fi elaborat un plan optim de iradiere (geometria, timpul de iradiere și numărul de etape), rezultând raportul D_{\max}/D_{\min} cel mai eficient pentru lotul de artefacte în cauză.

- *Dozimetrie*. Sistemul dozimetric trebuie să fie fiabil și să fie parte dintr-un sistem certificat de management al calității. Dozimetristul este considerat parte a sistemului de dozimetrie. Abilitățile dozimetristului sunt foarte importante pentru realizarea corectă a tratamentului.
- *Responsabilități după tratament*. Dezinfecția prin iradiere este o metodă de tratament curativ și nu are valențe preventive. Este foarte important ca artefactele iradiate să NU ajungă în spațiul/depozitul din care au provenit, înainte ca acesta să fie igienizat. Altfel sursa de infecție va fi în continuare prezentă în acel depozit. Artefactele iradiate trebuie să fie plasate de preferință într-un mediu înconjurător controlat – sau cel puțin curat. În cazul în care artefactele sunt plasate într-un mediu nepotrivit (murdar, umed), contaminarea poate să reapară. De altfel, recontaminarea poate apărea în cazul oricărui tratament în masă (anoxie, fumigare, liofilizare), căci toate au doar efect curativ.

8.5. COMENTARIILE ÎN CAZUL UNOR MATERIALE PARTICULARE

Următoarele considerații se referă mai ales la tratarea anumitor materiale:

- *Reziduurile microorganismelor*. Reziduurile ciupercilor și bacteriilor sunt substanțe rezultate din metabolismul acestora. După tratament acestea rămân în și pe artefact. Oamenii pot fi alergici la unele dintre aceste reziduuri. În cel mai rău caz, reziduurile pot fi cancerigene, cum este cazul micotoxinelor asociate unor mucega-uri. Pentru protecția oamenilor ce vin în contact cu obiectele infectate înainte de tratament, recomandarea minimală este purtarea unui echipament de protecție pentru mâini și căile respiratorii. După iradiere, suprafețele artefactelor trebuie curățate cu atenție.
- *Lemn*. Iradierea utilizând o doză de până la 10 kGy (care asigură eradicarea insectelor și ciupercilor) îmbunătățește puțin proprietățile mecanice ale lemnului, datorită reticulării celulozei. La o doză mai mare, pot apare modificări ale proprietăților mecanice și chimice ale lemnului. Nivelul modificărilor depinde mai ales de doză, dar și de

originea lemnului. În practică obiectele supradimensionate primesc uneori, punctiform, doze mai mari de 10kGy. Aceste situații sunt tolerabile în mod excepțional.

- *Policromie*. Culoarea pigmentilor anorganici nu este modificată de doza de tratament recomandată. Pentru coloranții organici naturali (rar utilizați în pictura pe lemn), ca și pentru pigmentii organici sintetici (moderni) culorile se pot schimba la iradiere. În aceste cazuri se recomandă teste specifice prelabile.
- *Hârtie*. Dezvoltarea de ciuperci și alte microorganisme în arhive creează probleme serioase de sănătate pentru persoanele care le folosesc sau care se ocupă de acestea. Dimensiunile cărților permit iradierea prin utilizarea conveierelor. Această procedură conduce la tratament în regim continuu și asigură un raport D_{\max}/D_{\min} mic și repetitiv. La iradierea pe conveier se poate asigura fără dificultăți doza medie recomandată pentru dezinfecția hârtiei de 8 ± 2 kGy.
- *Piele, pergament, blană, păr, pene, piele în artefacte compozite*. Artefactele compozite sunt artefacte care constau din materiale diferite, cum ar fi mumiile. Pentru artefactele proteice și pentru compozitele care le includ, tratamentul cu o doză maximă de 10 kGy poate fi văzut ca fiind sigur. În acest caz, nu sunt necesare teste suplimentare.
- *Textile, țesături*. Doza maximă de 10kGy poate fi utilizată în siguranță la textile. 10kGy trebuie să fie doza maximă (D_{\max}). Se poate lua în considerare o doză medie de 8 ± 2 kGy. Deoarece comportamentul la iradiere a coloranților naturali utilizați pentru textile și țesături nu a fost încă studiat suficient, se recomandă teste prelabile.
- *Lianți, lacuri, gume și rășini în picturi de șevalet sau pe lemn*. O doză de 10kGy nu afectează în mod normal acest grup de materiale. Totuși substanțele cu aceste funcții, au fost până de curând doar substanțe naturale, nestandardizate. De aceea este bine să se efectueze teste înainte de tratament.
- *Chihlimbar*. Chihlimbarul sau ambra este o rășină naturală. Poate avea multe culori. Ambra nu este atacată de biodeteriogeni și nu există motive pentru dezinfecția sa. Uneori mărgelile de chihlimbar sunt cusute pe haine sau adăogate altor artefacte. Deoarece unele tipuri de chihlimbar pot deveni maronii prin iradiere, cel mai bine

este să se îndepărteze piesele de chihlimbar înainte de iradierea artefactului.

- *Materiale „gri” (perle, mică, pietre opace – lapis lazuli, turcoaz, jasp, jad).* Ca și chihlimbarul, aceste materiale nu sunt biodegradabile. Pot ajunge să fie iradiate pentru că se pot găsi în obiecte compozite (mobilier sau haine). O doză de 10 kGy nu afectează structura sau aspectul acestora.
- *Materiale „albe” (fildes, corn și os).* Aceste materiale se adaugă în compozite, unde îndeplinesc un rol estetic. Chiar și cea mai mică schimbare de culoare ar trebui evitată. Deoarece nu există suficientă experiență în iradierea acestui grup de materiale, se recomandă ca acestea să fie îndepărtate din artefacte înainte de a efectua orice tratament de iradiere.
- *Sticla și pietrele prețioase transparente.* Sticla și pietrele transparente sunt materiale anorganice și nu trebuie iradiate pentru dezinfecție. Își pot schimba culoarea la iradiere. Această proprietate este folosită. Pietrele prețioase sunt iradiate cu scopul de a-și modifica culoarea obținându-se varietăți exotice.

8.6. ARIA DE APLICARE A DEZINFECȚIEI PRIN IRADIERE

În ultimul timp, s-au efectuat numeroase cercetări privind modul de aplicare a tehnicilor de iradiere pentru diferite tipuri de artefacte culturale. Această activitate continuă ca răspuns la noile întrebări atât din domeniul patrimoniului cultural, cât și din știința conservării. Tabelul 8.1 conține un rezumat al stadiului actual al tehnicii de dezinfecție și sterilizare cu radiații, în Franța, per tip de artefact.

În tabel:

- *Bine acceptat* – înseamnă că aplicația se desfășoară frecvent și cu succes pentru acel material.
- *În cercetare* – indică faptul că subiectul este încă studiat.
- *Posibil* – înseamnă că iradierea se poate aplica materialului, totuși trebuie să se răspundă la unele întrebări (în majoritatea cazurilor legate de coloranți naturali și sintetici).
- *Nerecomandat* – indică că iradierea nu este adecvată materialului.
- *Fără interes* – înseamnă că, deși iradierea poate fi aplicată fără efecte colaterale, tratamentul acelu material nu este necesar.

TABEL 8.1. DEZINFECȚIA ȘI ERADICAREA INSECTELOR PRIN IRADIERE ÎN FRANȚA

Tip de artefact	Iradieră pentru dezinfecție/eradicarea insectelor				
	Bine acceptat	În cercetare	Posibil	Nerecomandat	Fără interes
Pictură de șevalet (pe pânză)			X		
Pictură (pe panou de lemn)	X				
Pictură (pe piatră, metal)					X
Hârtie, desen, manuscris, carte	X				
Pergament, velum, piele		X	X		
Pânză, textile, tapiserie			X		
Împletituri de nuiele	X				
Mobilă	X				
Obiecte de artă decorativă (compozite)	X				
Instrumente muzicale			X		
Elemente din lemn ale unor structuri construite (clădiri, vapoare etc)	X				
Lemn arheologic îmbibat cu apă	X				
Statui de lemn (uscat) nepictate	X				
Statui de lemn (uscat) policrome sau aurite	X				
Os, corn, fildeș, cochilie de broască țestoasă			X		
Statui din piatră poroasă					X
Obiecte de ghips sau stucaturi			X		

TABEL 8.1. DEZINFECȚIA ȘI ERADICAREA INSECTELOR PRIN IRADIERE ÎN FRANȚA

Tip de artefact	Iradieră pentru dezinfecție/eradicarea insectelor				
	Bine acceptat	În cercetare	Posibil	Nerecomandat	Fără interes
Colecții etnografice (haine, textile, ceramică)			X		
Colecții etnografice compozite (materiale organice și anorganice)	X				
Colecții de istorie naturală (animale împăiate)	X				
Mumii	X				
Colecții de fotografii și filme (emulsie clasică de argint pe hârtie sau pe substrat polimeric cum ar fi PET)	X				
Colecții de fotografii și filme (pe substrat de azotat sau acetat de celuloză) ^a				X	
Sticlă, pietre prețioase, chihlimbar				X	X

^{a)} *Materialele fotografice cu substrat de azotat sau acetat de celuloză necesită o grijă specială, căci ele se pot deteriora grav în mod natural*

8.7. SIGURANȚA ȘI PROTECȚIA LA IRADIERE

Când se evaluează utilizarea tehnicilor nucleare pentru o anumă aplicație, primul pas este acela de a stabili dacă aplicația este justificată. În cazul în care se decide că solicitarea este justificată, următoarea etapă este asigurarea mijloacelor de măsură și control a iradierii. Se folosesc instalații autorizate, ce funcționează cu aprobarea autorității de reglementare (CNCAN în România). Cerințele de reglementare acoperă măsurile tehnice și administrative necesare pentru lucrul în siguranță. În iradia-toare exista un ecran de protecție radiologică care înconjoară camera de

iradiere. Grosimea și alcătuirea sa sunt în acord cu gradul de pericol. Iradiatoarele sunt prevăzute cu un sistem de protecție la erori umane. Toate activitățile sunt procedurate, iar personalul este școlarizat continuu. Cele de mai sus contribuie la securitatea radiologică, care este partea cea mai consistentă a procesului de autorizare. Scopul principal al acestei filozofii de construcție și funcționare a iradiatoarelor este obținerea siguranței și protecției personalului de exploatare și a celor din jurul iradiatorului.

Pe de altă parte, după cum s-a mai spus, procesul de iradiere gamma nu generează radioactivitate și nu lasă reziduuri radioactive în materialele iradiate. Iradierea este un instrument eficient pentru inactivarea agenților patogeni, așa cum este evident din aplicațiile generalizate de multă vreme, precum sterilizarea dispozitivelor medicale. Activități cum ar fi iradierea produselor alimentare și sterilizarea dispozitivelor medicale sunt bine reglementate și sunt efectuate la nivel industrial, în condiții de siguranță, de mai bine de 60 de ani, în parcuri comerciale și de afaceri și într-un număr mare de centre de cercetare-dezvoltare.

Toate activitățile desfășurate în aceste instalații sunt sigure și fiabile. Standardele de siguranță elaborate de AIEA Seria SSG-8 (publicată în 2010) [8.1] oferă informații și îndrumări complete privind proiectarea și funcționarea în siguranță a instalațiilor de iradiere. Autoritățile naționale de reglementare, consideră recomandările acestor standarde ca obligatorii. În plus, în aceste instalații pot fi puse în aplicare alte reglementări privind siguranța (locale, naționale sau internaționale) care acoperă alte zone decât siguranța la iradiere.

Se poate spune în concluzie că procesul de iradiere este o tehnologie avansată, utilizată peste tot în lume, la nivel industrial. Procesul este gestionat în siguranță, doar în instalații reglementate de standarde internaționale, controlate și autorizate de autorități naționale și de organisme de terță parte, cu competență recunoscută la nivel mondial.

BIBLIOGRAFIE LA CAPITOLUL 8

- [8.1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiation Safety of Gamma, Electron and X Ray Irradiation Facilities, IAEA Safety Standards Series No. SSG-8, IAEA, Vienna (2010).

Capitolul 9

CONSOLIDAREA MATERIALELOR ORGANICE PRIN TEHNOLOGII DE IRADIERE

Q.K. TRAN
ARC-Nucléart,
Grenoble, France
Email: quoc-khoi.tran@cea.fr

J.L. BOUTAINE
Centre de recherche et de restauration des Musées de France,
Paris, France

9.1. INTRODUCERE

Datorită duratei și/sau a condițiilor de stocare, artefactele culturale sunt supuse deteriorării, ceea ce conduce frecvent la dificultăți în manipularea acestor materiale. Un exemplu bine cunoscut este fragilizarea mărită a manuscriselor pe hârtie. Un alt exemplu este înmuierea lemnului prin îmbibare cu apă. Hârtia ce devine casantă se poate destrăma ușor, astfel încât nu mai poate fi consultată și chiar se poate pierde pentru totdeauna. Acest capitol descrie utilizarea metodelor bazate pe iradiere pentru consolidarea materialelor de patrimoniu. Principala aplicație utilizează rășini ce se întăresc in situ prin iradiere.

9.2. HÂRTIE ȘI TEXTILE

Hârtia și materialele textile pot deveni casante și extrem de fragile în timp. Procesul de degradare depinde nu numai de mediul de depozitare, ci și de procesul de fabricație a artefactelor culturale. Metodele curente pentru consolidarea hârtiei și a produselor textile nu implică tehnologii cu radiații. La sfârșitul anilor 1980, în cadrul Bibliotecii Britanice, a fost dezvoltată o metodă de întărire a hârtiei printr-un așa-numit proces de polimerizare prin grefare; totuși, această metodă nu a evoluat dincolo de stadiul experimental [9.1].

În prezent, nu există procese cunoscute care să îmbunătățească rezistența hârtiei sau a materialelor textile folosind tehnologii cu radiații.

9.3. CONSOLIDAREA ARTEFACTELOR DIN LEMN PRIN RADIOPOLIMERIZARE

Consolidarea materialelor poroase cum ar fi lemnul sau betonul a fost implementată în anii 1960 în Statele Unite ale Americii, Japonia și Europa, prin impregnarea sub presiune a acestor materiale cu monomeri acrilici și vinilici și apoi polimerizare in situ, folosind iradierea gamma. În această perioadă au fost dezvoltate compozite din lemn și materiale plastice pentru pardoseli în zone publice cu trafic intens. Au fost obținute suprafețe foarte dure deoarece rășina umple complet spațiile goale din lemn, dând un material dens și mult mai puțin sensibil la umiditatea relativă a aerului. Aplicațiile în domeniul patrimoniului cultural au fost inițiate în anii 1970 în Franța și Republica Cehă (la acea vreme Cehoslovacia). În 1970, laboratorul ARC-Nucléart din Grenoble a întreprins un proiect de consolidare a parchetului de secol XIX din vechea primărie a orașului Grenoble. Panourile de lemn au fost dezmembrate, impregnate cu monomerul MMA și polimerizate prin iradiere. La sfârșitul anilor '70, s-a procedat la consolidarea artefactelor de lemn foarte degradat utilizând polimerizarea prin iradiere a unui amestec de rășini poliesterice nesaturate și stiren. Tehnica a fost aplicată și la conservarea artefactelor arheologice îmbibate de apă, care necesită etape suplimentare de înlocuire a fazei lichide apoase cu solventul acetona. În prezent, laboratorul ARC-Nucléart este singurul laborator din Europa capabil să implementeze acest tratament de consolidare.

9.3.1. Monomeri și rășini

Polimerizarea prin iradiere este inițiată de radicalii liberi; prin urmare, monomerii sau rășinile care urmează a fi tratate prin acest procedeu, trebuie să aibă o structură chimică care să conțină legături duble carbon-carbon sau legături nesaturate reactive, cum sunt monomerii acrilici, metacrilici, vinilici sau oligomerii de poliesteri nesaturați. Monomerul acrilic utilizat în prezent cel mai des este MMA (Figura 9.1), care polimerizează pentru a forma polimerul termoplastic PMMA (plexiglas), cu o contracție în volum de aproximativ 20%. Deși are avantajul unei

vâscozități foarte mici penetrând ușor în materiale poroase, MMA prezintă două dezavantaje principale în această aplicație: volatilitate foarte mare, care conduce la pierdere de produs prin evaporare și sensibilitate la inhibarea polimerizării radioinduse, în aer, produsă de oxigen, având ca rezultat straturi superficiale neîntărite complet și lipicioase.

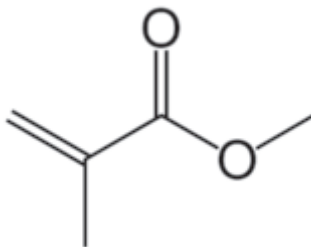


FIG. 9.1. Structura chimică a monomerului MMA

Rășinile poliesterice nesaturate standard sunt utilizate în prezent în industria materialelor compozite (bărci, recipiente) și sunt compuse din monomerul stiren (raportul de masă 30-50% în raport cu rășina) și prepolimerul poliesteric nesaturat (rășina propriu-zisă). Acest amestec este mult mai vâscos decât un monomer și polimerizează formând o rețea tridimensională prin reticularea lanțurilor poliesterice cu radicalii stirenici (rășini tip termoset). Contrakția în volum este de numai 10%, iar după întărire, rășina poliesterică formează un material dur, insolubil, chiar și la suprafață. Din acest motiv, rășinile poliesterice de tip izoftalic (recomandate pentru durabilitate) sau tetrahidroftalice au fost utilizate cu succes timp de peste 30 de ani.

Unele dintre denumirile comerciale ale rășinilor poliesterice nesaturate din Europa sunt Norsodyne, Ludopal, Palatal, Synolyte și Atlac. Un nume comercial în America de Nord este Norpol.

9.4. POLIMERIZAREA PRIN IRADIERE GAMMA

Atât monomerul acrilic cât și rășina poliesterică nesaturată sunt polimerizate printr-un mecanism cu radicali liberi produși prin iradiere (radiații gamma, EB) sau prin adăugarea de catalizatori chimici, cum ar fi peroxizii (procedeu convențional în industria compozitelor). Când se utilizează iradierea, rășina este complet lipsită de orice aditivi chimici (peroxizi, acceleratori) deoarece radiațiile produc radicalii liberi necesari pentru inițierea

polimerizării. Aceasta are loc la temperatura camerei. A doua etapă este propagarea lanțului polimeric, care însoțește iradierea și produce totdeauna „efectul de gel” cu acumulare de căldură. Ultimul pas este formarea polimerului solid după reacționarea tuturor radicalilor liberi prezenți. Datorită faptului că viteza reacției de polimerizare este proporțională cu debitul dozei de iradiere (adică cu intensitatea iradierii), se poate controla acumulare de căldură în timpul polimerizării, prin variația debitului dozei, cel mai mare debit utilizat fiind, de obicei, de circa 1-2 kGy/h. Doza totală pentru polimerizarea completă a rășinii este în intervalul 20-30 kGy.

Impregnarea cu rășină a artefactelor de lemn degradate, în stare uscată, se realizează în recipiente de oțel adecvate pentru obținere de vid și presiune. Artefactul este fixat pe un suport în interiorul recipientului, pentru a-l împiedica să floteze în baia de rășină. Un vid scăzut (aproximativ 1 mm Hg), menținut timp de câteva ore, va extrage aerul din porii lemnului. Apoi rășina lichidă umple rezervorul prin aspirație în vid până la imersia completă a artefactului în baia de rășină. Pentru a asigura difuzia rășinii în miezul artefactului, se aplicată în rezervor o presiunea de azot de 1 la 3 bari, în funcție de starea de descompunere a lemnului, pe o perioadă care variază de la câteva ore pentru artefactele subțiri, la mai mult de 24 de ore pentru cele voluminoase. La sfârșitul impregnării, rășina în exces curge înapoi în rezervorul de stocare pentru utilizare ulterioară. Această caracteristică este unul dintre principalele avantaje ale procesului de iradiere: rășina, fără catalizator, așa cum s-a menționat anterior, poate fi depozitată pentru o perioadă lungă de timp la temperatura camerei și refolosită. Readus la presiunea atmosferică, artefactul este lăsat să se scurgă în interiorul rezervorului. După scoaterea în afara rezervorului, obiectul este curățat cu materiale textile care absorb orice urmă de rășină de pe suprafață și apoi este pregătit pentru iradiere prin împachetare în întregime cu material textil și folie de plastic.

În camera de iradiere a instalației din Grenoble, artefactul este plasat la 10 cm de panoul cu surse de ^{60}Co pentru a porni polimerizarea in situ a rășinii. În prealabil au fost plasate termocupluri subțiri în interiorul obiectului pentru a monitoriza temperatura, care nu trebuie să depășească 50-60°C. Un avantaj al polimerizării prin iradiere, așa cum s-a menționat mai sus, este capacitatea de a controla temperatura prin modificarea debitului dozei; astfel, creșterea distanței dintre artefact și panoul cu surse, va micșora debitul dozei și implicit, viteza de polimerizare, reducând

temperatura în interiorul lemnului. Este important să se poată modifica acest parametru pentru a putea adapta viteza de polimerizare la caracteristicile artefactului – suprafața de disipare a căldurii sau structura sa internă. Datorită puterii de penetrare a radiațiilor gamma, polimerizarea se realizează în fiecare punct de pe suprafața și din interiorul obiectului, rezultând o reacție omogenă și completă. În timpul primelor 48 de ore de iradiere, este esențial să fie curățată suprafața artefactului cu materiale textile și să fie înlocuit materialul de ambalare, pentru a îndepărta orice urmă superficială de rășină scursă, ceea ce ar produce la sfârșitul polimerizării, o suprafață lucioasă a artefactului. Se expun către sursă ambele laturi ale obiectului, pentru a asigura omogenitatea dozei de iradiere, care atinge valori de 30-40 kGy, după mai multe zile de tratament. Acest interval de doze nu este dăunător structurii lemnului. În cele din urmă, artefactul consolidat este plasat într-o cameră ventilată timp de mai multe săptămâni, pentru a elimina orice urmă de stiren nereacționat.

Cantitatea de rășină absorbită de lemn, îi crește acestuia greutatea și îi conferă o structură compozită de lemn-polimer. Materialul obținut devine dur în întregul său volum, iar rezistența mecanică este considerabil mărită. Cresc și rezistența la abraziune și frecarea la suprafață și se îmbunătățește rezistența la șoc. Lemnul astfel densificat este neafectat de variațiile de temperatură și este puțin sensibil la schimbările climatice, atunci când este expus sau manipulat în interior. Impregnarea închide puțin culoarea lemnului, în funcție de specia botanică din care provine (lemnul de foioase se închide la culoare mai mult decât coniferele).

În ceea ce privește sculpturile policrome, este important să se testeze cu atenție interacțiunea straturilor de pigment cu monomerul sau rășina, după caz. Consolidarea așa cum a fost descrisă, trebuie evitată, dacă se detectează dizolvarea în rășină a stratului cu pigment. În unele cazuri, stratul cu pigment poate fi protejat prin aplicarea de ceară înainte de impregnare.

Fără îndoială, acest procedeu – ce folosește pentru consolidare un polimer reticulat, insolubil și un conținut maxim de rășină care umple toți porii, se află la polul opus metodelor convenționale – care folosesc soluții diluate de polimeri (polietilen glicoli), ce consolidează prin filme subțiri, teoretic reversibile, formate pe suprafața interioară a porilor lemnului.

Metoda descrisă trebuie luată în considerare ca o „metodă de ultimă șansă” pentru conservarea artefactelor puternic degradate.

9.5. DOMENII DE APLICARE A CONSOLIDĂRII PRIN IRADIERE

Laboratorul ARC-Nucléart și atelierul său de conservare au obținut o mare experiență în aplicarea tehnicilor de iradiere pentru consolidarea diferitelor colecții de artefacte culturale. Activitatea de cercetare privind aceste aplicații continuă, căci industria polimerilor dezvoltă permanent noi monomeri. Desigur, înainte de validarea unei aplicații, trebuie să se răspundă la întrebările firești venite atât din domeniul patrimoniului cultural, cât și din partea științei conservării. Tabelul 9.1 conține un rezumat al aplicării tehnicii de consolidare prin iradiere a materialelor de patrimoniu în Franța, în funcție de tipul de artefact.

În tabel:

- *Bine acceptat* – înseamnă că tratamentul aceluși material se desfășoară frecvent și cu succes.
- *În cercetare* – indică faptul că subiectul este încă în studiu.
- *Posibil* – înseamnă că iradierea se poate aplica materialului, totuși trebuie să se răspundă la unele întrebări (în majoritatea cazurilor legate de coloranți naturali și sintetici).
- *Nerecomandat* – indică că iradierea nu este adecvată materialului.
- *Fără interes* – înseamnă că, deși iradierea poate fi aplicată fără efecte colaterale, tratarea aceluși material nu este necesară.

TABEL 9.1. APLICAREA IRADIERII PENTRU CONSOLIDAREA MATERIALELOR DE PATRIMONIU ÎN FRANȚA

Tip de artefact	Impregnare, consolidare				
	Bine acceptat	În cercetare	Posibil	Nerecomandat	Fără interes
Pictură de șevalet (pe pânză, panou de lemn, piatră, metal)					X
Hârtie, desen, manuscris, carte					X
Pergament, velum, piele			X		
Pânză, textile, tapiserie					X

TABEL 9.1. APLICAREA IRADIERII PENTRU CONSOLIDAREA MATERIALELOR DE PATRIMONIU ÎN FRANȚA

Tip de artefact	Impregnare, consolidare				
	Bine acceptat	În cercetare	Posibil	Nerecomandat	Fără interes
Împletituri de nuiele				X	
Obiecte de artă decorativă (compozite)			X		
Instrumente muzicale			X		
Elemente din lemn ale unor structuri construite (clădiri, vapoare etc)	X				
Lemn arheologic îmbibat cu apă	X				
Statui de lemn (uscat)	X				
Statui de lemn (uscat) policrome sau aurite			X		
Os, corn, fildeș, cochilie de broască țestoasă				X	
Statui din piatră poroasă			X		
Elemente din piatră (sau cărămidă) poroasă a unor structuri construite			X		
Obiecte de ghips sau stucaturi			X		
Colecții etnografice (haine, textile, ceramică)			X		
Colecții de istorie naturală (animale împăiate)					X
Mumii					X
Colecții de fotografii și filme (emulsie clasică de argint pe hârtie, azotat sau acetat de celuloză sau PET)					X

BIBLIOGRAFIE LA CAPITOLUL 9

- [9.1] FOOT, M., “The reinforcement of papers by graft copolymerisation”, Sauvegarde et conservation des photographies, dessins, imprimés et manuscrits, Actes des journées internationales d'études de l'ARSAG, ICCROM, Paris (1991) 228–230.

Capitolul 10

ERADICAREA MUCEGAIULUI LA BIBLIOTECA « PALATUL PĂCII » PRIN IRADIERE GAMMA

J. VERVLIET
Peace Palace Library,
The Hague, Netherlands
Email: j.vervliet@peacepalacelibrary.nl

10.1. INTRODUCERE

În 2003, Biblioteca Palatul Păcii, care deține o colecție unică și numeroasă de drept internațional și care deservește Curtea Internațională de Justiție și Academia de Drept Internațional de la Haga, a avut ocazia să se doteze cu un nou sistem de climatizare pentru sala de lectură, birouri și depozite. Până în anul 2003 spațiile de depozitare erau răspândite în întregul complex, ceea ce era nepractic din punct de vedere logistic. Există un depozit, conținând în principal materiale folosite mai rar, cum ar fi documente guvernamentale, plasat sub intrarea centrală a Palatului Păcii. Acest spațiu nu a fost construit pentru depozitarea arhivelor sau pentru a adăposti cărți de bibliotecă. Încăperea era prea umedă, era vecină cu un canal de colectare a apelor și nu avea aer condiționat. Drept rezultat, în zona rafturilor era prea cald și pe pereți apăruse umiditate. Niciun alt spațiu de depozitare din bibliotecă nu îndeplinea cerințele unui depozit (unele erau frecvent inundate). În plus, rafturile erau nesănătoase și cu praf. Figura 10.1 prezintă o parte din colecția contaminată.

10.2. DEZINFECȚIA PRIN IRADIERE GAMMA

Rafturile originale erau vechi și neprotejate iar cărțile erau prăfuite și mucegăite, ca o consecință a umidității intrată în clădire prin ferestrele spre grădină ce erau întotdeauna deschise. Totul era contaminat cu spori fungici – chiar și pereții. Hârtia, praful și umiditatea formează împreună un mediu ideal de reproducere pentru mucegai. În plus, biblioteca a fost forțată să mute frecvent colecțiile pentru a utiliza spațiul în mod eficient,

ceea ce a contaminat cu ciuperci zone care nu erau încă infectate. De asemenea, mucegaiul a cauzat serioase probleme de sănătate angajaților – ochi uscați sau apoși, iritarea pielii și chiar erupții. Se știe de altfel, că mucegaiul poate provoca reacții alergice, probleme cardiace și chiar cancer.



FIG. 10.1. În Biblioteca Palatul Păcii, înainte de 2003, toate cărțile aflate în depozite erau mucegăite.

Măsurătorile și investigațiile au arătat prezența genurilor *Aspergillus*, *Cladosporium* și *Penicillium*. Problema mucegaiului trebuia rezolvată înainte de a muta colecțiile în spațiile nou construite. Prin coincidență, în 2006, J.B.G.A. Havermans de la TNO a invitat Biblioteca Palatul Păcii să participe la un proiect recent lansat de eradicare a mucegaiurilor folosind radiații gamma. Contribuția Bibliotecii Palatul Păcii urma să fie în principal furnizarea materialelor papetare (carte) pentru cercetare și a informațiilor privind logistica tratării a aproximativ 15 km rafturi cu materiale (cărți, reviste, etc.) pentru tratamentul prin iradiere.

Pentru a muta materialele într-o locație temporară și apoi la instalația de decontaminare, a fost angajată o companie de transport cu abilități deosebite în mutarea și depozitarea colecțiilor de bibliotecă. O parte au

fost duse într-un spațiu de depozitare închis, inaccesibil, iar o altă parte a ajuns într-un complex accesibil unde puteau fi consultate (o a treia parte, conținând cărțile și jurnalele consultate cel mai des, a fost plasată în subsolul descris mai sus, sub Palatul Păcii). A fost importantă măsurarea nivelului contaminării în timpul depozitării temporare în cele trei locații. Măsurătorile au arătat că *Aspergillus* și *Cladosporium* au sporit în mod fost agresiv. Aceste măsurători au fost importante în alegerea metodologiei de iradiere utilizate. A fost aplicată o doză maximă de 10 kGy, iar tratarea întregului volum a durat 150 de zile consecutive. Atât rafturile vechi, cât și cele noi au fost lungi de 1 m. Pentru iradiere au fost proiectate cutii speciale de 1 m lungime. Au fost tratate zilnic și livrate bibliotecii pentru depozitare în noile rafturi, 12-16 paleți, cu câte 8-10 cutii fiecare.

În cele din urmă, colecțiile Bibliotecii Palatul Păcii au fost mutate în spațiile de depozitare, reconstruite în conformitate cu reglementările privind arhivele, cu filtrare, circulare a aerului, o temperatură de 18°C și o umiditate relativă de aproximativ 45%. După tratamentul gamma, cărțile păreau bine curățate – cu ciupercile și mucegaiul eradicate. Dar praful care reprezintă o condiție ideală pentru dezvoltarea mucegaiului era încă în cărți. Evident, praful a trebuit să fie îndepărtat înainte ca colecția să fie plasată în noua locație. Pentru aceasta s-a folosit mașina italiană Depulvera (în esență un «aspirator de carte»), construită la cererea unei companii italiene care se ocupă de muzee, arhive și biblioteci. Așa a fost îndepărtat praful de pe exteriorul cărților și odată cu el, reziduurile mucegaiului distrus. Ultima etapă deci, a cuprins curățarea prin aspirație: toate cărțile, bucată cu bucată, au trecut prin aspirator. În următoarea perioadă, alături de alte teste efectuate frecvent, a fost urmărită calitatea aerului din interior și starea colecțiilor. Concluzia a fost că la doi ani după tratamentul gamma și renovarea camerelor de depozitare (în 2010), sălile erau lipsite de mucegai și spori. Dezinfecției gamma și îndepărtării prafului din cărți, li s-au alăturat condițiile climatice și manipularea corectă a cărților (Fig.10.2). Toate materialele din această colecție unică de drept internațional sunt acum ușor accesibile și din nou, frecvent consultate.



FIG. 10.2. Probele au fost luate din cărți unice și rare la doi ani după dezinfectia gamma. S-a ajuns la concluzia că nu există încă nici o formă de viață vie iar cărțile pot fi consultate în siguranță.

Capitolul 11

DEZINFECȚIA MUMIEI LUI RAMSES II (FRANȚA, 1977)

L. CORTELLA
ARC-Nucléart,
Grenoble, France
Email: laurent.cortella@cea.fr

11.1. INTRODUCERE

În timp ce era expusă la Muzeul din Cairo, mumia lui Ramses II a început să prezinte semne de infecție din cauza mediului fierbinte și umed și a neetanșeității capacului de protecție din sticlă (1975). În cadrul unei expoziții organizate la Paris (1976) cu tema Ramses II, mumia faraonului și numeroase artefacte legate de domnia sa, au fost transferate în Franța spre examinare de către Muzeul Național Francez de Istorie Naturală. Mumia a fost găsită infectată cu o populație densă de diferite tipuri de fungi, dar fără bacterii patogene, după ce fusese atacată în trecut de larvele unor insecte. Așa că s-a decis, de comun acord cu autoritățile egiptene, dezinfectarea mumiei prin iradierea gamma, un procedeu folosit de mulți ani la laboratorul Nucléart (redenumit ARC-Nucléart în 1987) situat în Centrul de Cercetare CEA din Grenoble.

11.2. DE LA ISTORIE LA TRATAMENT

Pentru a gestiona diferitele etape ale proiectului, a fost înființat un consorțiu de laboratoare și muzee la Paris (Muzeul de Antropologie, Musée de l'Homme) și Grenoble, coordonat de un laborator de cercetare din Paris. Proiectul a cuprins o etapă de studii și teste preliminare, tratamentul în sine și pregătirea întoarcerii mumiei la Muzeul din Cairo. Mai mult de 400 de probe au fost prelevate de la alte mumii pentru teste la iradiere gamma, cu scopul determinării dozei de tratament; doza trebuia să distrugă toate ciupercile (mai mult de șaiszeci de specii), dar să nu dăuneze componentelor mumiei, cum ar fi părul, textilele, pielea și dinții. Nu a fost

autorizată eşantionarea mumiei lui Ramses II, cu excepția unor fragmente de păr și de textile care se aflau pe lenjerie sau pe placa din plexiglas pusă sub mumie. Era foarte important să se proiecteze capacul sub care mumia să fie păstrată în timpul iradierii și chiar după aceea, pentru a o menține în atmosferă sterilă și a evita astfel orice recontaminare (Figurile 11.1 și 11.2).

Datorită lungimii (1,72 metri) și formei asimetrice a mumiei (în special aranjamentul brațelor), precum și a prezenței sarcofagului și a diverselor materiale din interiorul acestuia, a fost necesar să se proiecteze un program de calcul dozimetric (software) bazat pe forme geometrice simple reprezentând întregul artefact. S-a putut astfel calcula doza de iradiere în fiecare parte a mumiei. Deoarece nu a putut fi estimată destul de precis densitatea materialelor, s-au folosit date echivalente măsurate la alte mumii. Modelul de calcul a permis proiectarea sursei de radiații gama într-un mod care să satisfacă parametrii de iradiere, adică o doză de dezinfectie de 18 kGy la un debit de doză mediu de 1,5 kGy/h. A fost de asemenea posibilă determinarea debitului dozei la fiecare punct al modelului de mumie, în funcție de poziția sa față de sursa ^{60}Co (geometria de iradiere) și de prezența sau absența materialelor absorbante. Provoacarea a fost aceea de a aplica această doză minimă de 18 kGy la toate părțile mumiei. Modelul a fost validat prin iradierea a două mumii dedicate studiilor, una de la Muzeul de Arte Frumoase din Grenoble, iar cealaltă de la Muzeul de Antropologie din Paris. S-a obținut un acord bun între dozele calculate și cele măsurate la iradiere [11.1].

În timpul iradierii, mumia și sarcofagul au fost plasate într-un ambalaj de plastic sigilat, astfel încât artefactul să poată fi manipulat ulterior într-o atmosferă sterilă. Etapa de iradiere a fost efectuată în iradiatorul Centrului de Cercetare CEA de la Saclay, lângă Paris, care la acea dată (mai 1977) avea o activitate instalată de $5,92 \times 10^{15}$ Bq (160 kCi). Iradierea a durat 12 ore și 40 de minute, mumia fiind rotită la jumătatea acestei perioade. Raportul dintre doza maximă și cea minimă a fost de 1,33 iar incertitudinea de măsurare a fost de aproximativ 10%. Mumia dezinfectată este expusă în ambalajul său etanș de plexiglas transparent, în care atmosfera sterilă este menținută permanent de un sistem de pompare și filtrare amplasat în postamentul ce susține sarcofagul.

Mulți factori au contribuit la succesul operațiunii, care încă păstrează mumia lui Ramses II în condiții excelente după aproape patruzeci de

ani. Procesul de iradiere s-a dovedit a fi foarte eficient în tratarea acestui caz complex. Nu în ultimul rând, abilitățile diferiților parteneri implicați, precum și coordonarea perfectă dintre ei, au fost factori cheie în rezolvarea cu succes a provocărilor unui proces unic de tratament, într-o perioadă atât de scurtă de timp [11.2, 11.3].



FIG. 11.1. Mumia lui Ramses II la Muzeul Omului, Paris.



FIG. 11.2. Mumia lui Ramses II

BIBLIOGRAFIE LA CAPITOLUL 11

- [11.1] de TASSIGNY, C., BROUQUI, M., Adaptation à la désinfection de la momie de Ramses II du procédé de radio-stérilisation gamma, Proc. Comité pour la conservation de l'ICOM, 5ème réunion triennale Zagreb, 1978, ICOM, Paris (1978) 1–16.
- [11.2] BALOUT, L., ROUBET, C., DESROCHES-NOBLECOURT, C., La momie de Ramses II: Contribution scientifique à l'égyptologie, Editions Recherche sur les Civilisations, Paris (1985).
- [11.3] RAMIERE, R., "Protection de l'environnement culturel par les techniques nucléaires", Proc. Conf. Industrial Application of Radioisotopes and Radiation Technology Grenoble, 1981, IAEA, Vienna (1982) 255–270.

Capitolul 12

EFECTUL TRATAMENTULUI DE DEZINFECȚIE GAMMA CU 8 ± 2 kGy ASUPRA HÂRTIEI MUCEGĂITE, ÎN OLANDA

J.B.G.A. HAVERMANS

TNO Environmental Modelling, Sensing and Analysis,
Bergen op Zoom, Netherlands

12.1. INTRODUCERE

Unul dintre cele mai frecvente dezastre în care sunt implicate artefacte de patrimoniu pe suport de hârtie este provocat de apă. Condiția proastă în care se găsește o clădire poate conduce la atmosferă umedă, iar inundațiile deseori afectează și depozitele. Atunci când un depozit este afectat de umiditate sau de inundații, se iau de obicei măsuri rapide pentru salvarea colecției. Chiar și așa, în colecțiile umede, mucegaiul găsește condiții favorabile de creștere, în special dacă mediul rămâne umed. O dezvoltare explozivă a mucegaiului poate fi prevenită numai dacă colecția umedă este uscată imediat și apoi depozitată într-un mediu uscat, fără mucegai. Această reacție rapidă și completă nu are loc totdeauna, iar colecțiile umede adesea se infectează cu mucegai, care trebuie îndepărtat ulterior. Una dintre metodele de dezinfectare a colecțiilor se bazează pe aplicarea tehnologiilor de iradiere. Studii anterioare efectuate în Olanda au arătat că tratamentul de dezinfecție prin iradiere gamma, la 8 ± 2 kGy, provoacă o degradare nesemnificativă a materialului papetar [12.1]. Pentru a confirma condițiile de tratament, a fost realizat un proiect de cercetare dedicat studierii și evaluării tratamentului de dezinfecție gamma, folosind materiale reale infectate cu mucegai. Studiile anterioare dedicate efectelor dezinfecției gamma asupra materialelor celulozice s-au desfășurat în principal pe tipuri noi de hârtie, cum ar fi hârtia de filtru Whatman sau alte tipuri de hârtie noi sau învechite artificial și fără a utiliza materiale infectate cu mucegai specific [12.2].

12.2. SIMULAREA DEZASTRULUI

Trei tipuri diferite de hârtie au fost supuse unui cocktail de mucegai și apoi depozitate în condiții cu umiditate relativă mai mare de 65%. Materialele folosite au fost o hârtie din bumbac (albită cu clor), o hârtie cu celuloză din lemn de esență moale și o hârtie de scris din lemn măcinat (cu încliere acidă). Amestecul de mucegaiuri, pulverizat pe foile de hârtie menționate mai sus, conține un *Aspergillus niger*, *Chaetomium globosum*, *Aspergillus versicolor* și *Eurotium herbariorum*. Alegerea acestor specii de mucegai s-a bazat pe recomandarea Arhivei Naționale de la Haga, care a constatat că acestea au fost speciile detectate frecvent în materiale de arhivă. Materialele au fost depozitate în cutii standard de arhivare, în condițiile descrise mai sus. După ce hârtia a fost complet acoperită cu mucegai, cutiile au fost scoase din spațiul de depozitare și plasate într-un mediu mai uscat. Două ateliere de conservare au fost invitate să evalueze nivelul daunelor și să aplice un tratament de conservare pentru a face ca materialele să devină din nou consultabile. Materialele contaminate pot fi văzute în Figura 12.1.



FIG. 12.1. O imagine de ansamblu (stânga) și una mărită (dreapta) a materialelor infectate artificial. Aici se poate observa că mucegaiul a deteriorat semnificativ hârtia. În stânga, pot fi de asemenea văzute epruvetele de testare; acestea au fost umplute cu agar pentru a testa vivacitatea mucegaiului.

Ambele ateliere de conservare au testat vivacitatea mucegaiului utilizând epruvete de testare cu agar [12.3]. O mică parte a suprafeței de hârtie a fost atinsă cu un tampon de bumbac și tamponul a fost pus în contact cu agarul. După ce eprubetele au stat într-un incubator (35 °C) timp de 5 zile, a fost evaluată creșterea coloniilor de mucegai. S-a concluzionat că mucegaiul a fost viu și activ. Ambele ateliere de conservare

au recomandat aplicarea dezinfecției gamma și apoi curățarea suprafeței de hârtie. După curățare, suprafața trebuie să fie aplatizată/presată și apoi întărită, de exemplu cu hârtie japoneză. Având în vedere scopul acestei lucrări, consolidarea nu a fost întreprinsă, căci nu s-ar fi putut realiza testele de rezistență mecanică.

În total, au fost obținute trei loturi de materiale. Un lot a fost curățat manual și nu a fost dezinfectat și două loturi au fost dezinfectate cu radiații gamma la 8 ± 2 kGy. Loturile dezinfectate au fost trimise celor două ateliere (câte un lot la fiecare atelier) pentru a îndepărta resturile de mucegai și pentru a aplatiza/presa hârtia după propria tehnologie.

12.3. EVALUAREA

În practică, evaluarea calității materialelor nu se poate face doar prin simpla prelevare a unei bucăți de material din fiecare document sau carte originală. Pentru evaluarea calității și/sau a deteriorării unui obiect, sunt necesare analize nedistructive. Pe baza nivelului de deteriorare observat, se pot lua măsuri de conservare. De exemplu, dacă un material este acid, se recomandă dezacidifierea. Dacă materialul este slăbit, se recomandă întărirea foilor. Una dintre metodele folosite pentru a evalua calitatea materialelor de hârtie în manieră nedistructivă este metoda SurveNIR [12.4]. SurveNIR este un instrument complet de caracterizare nedistructivă și o metodă de supraveghere care utilizează spectroscopia în infraroșu apropiat. Prin construirea unei baze de date a unor eșantioane istorice și printr-o caracterizare detaliată, se poate obține o calibrare chemometrică și astfel se poate caracteriza starea de degradare a hârtiei. SurveNIR poate evalua următorii parametri în decurs de o secundă: aciditatea (pH), rezistența la tracțiune, gradul de polimerizare și riscul de îngălbenire (conținutul de lignină) [12.5].

12.4. CALITATEA MATERIALELOR RETURNATE DUPĂ TRATAMENT ȘI CONSERVARE

Atelierul de restaurare H a efectuat lucrări de conservare atât a probelor iradiate cât și a celor neiradiate, în timp ce atelierul de restaurare S a efectuat lucrări de conservare numai pe eșantioanele iradiate. Probelor neiradiate li s-a aplicat doar o curățare uscată. Probele iradiate au fost

curățate la suprafață. Ambele tipuri de materiale au fost aplatizate. Figura 12.2 prezintă unele dintre materiale după toate tratamentele. Imediat după tratament, toate probele păreau a fi uscate și fragile; totuși, după două luni de depozitare în întuneric și condiții de mediu similare, probele neiradiate păreau a fi mai umede decât probele iradiate.

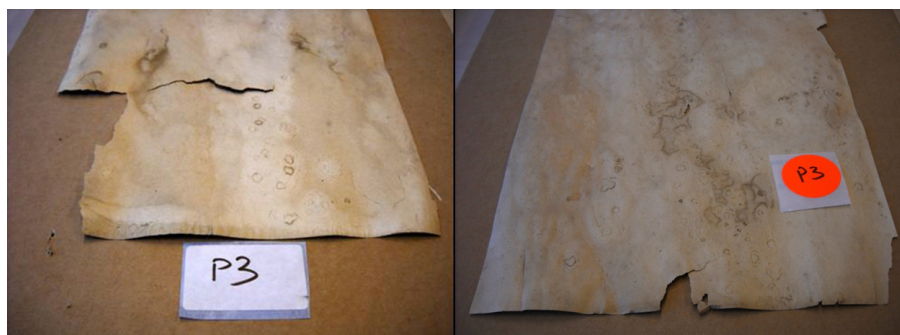


FIG. 12.2. Stânga: o foaie de hârtie infectată cu mucegai, după curățare uscată. Dreapta: o foaie de hârtie infectată cu mucegai după dezinfecție cu 8 kGy și îndepărtarea rezidului de la mucegai.

12.5. ANALIZA SURVENIR - PARTEA 1, EVALUAREA MATERIALELOR

Înainte de efectuarea analizei SurveNIR, au fost stabilite următoarele criterii pentru evaluarea materialelor tratate: aciditatea (pH), riscul de îngălbenire și riscul de fragilizare. Valorilor obținute în spectrul de infraroșu apropiat (NIR) li s-au acordat ponderi corelate cu pH-ul, rezistența la tracțiune, ruperea la dubla pliere și prezența ligninei. Întrucât unul dintre cele trei eșantioane a conținut într-adevăr lignină, gradul de polimerizare nu a fost inclus în această etapă de evaluare. Pentru a evalua necesitatea conservării, a fost stabilit un interval al valorilor normale – maxime și minime.

Pentru toate tipurile de hârtie, s-a observat o degradare severă în urma mucegării, după cum rezultă din Tabelul 12.1. Atât pentru hârtia de rășinoase, cât și pentru hârtia de bumbac, calificativul a fost „slab”, în timp ce pentru hârtia care conține lemn măcinat calificativul a fost „critic”. Această evaluare este în concordanță cu recomandarea atelierelor de restaurare de a consolida artefactele după mucegăire și tratament.

TABEL 12.1. REZULTATELE EVALUARII SurveNIR

Codul	Atelierul de restaurare	Tip de material	Tratament	pH	Riscul de îngălbenire	Riscul de fragilizare
P1	H	lemn moale	fără mucegai, referință	Acceptabil	Acceptabil	Acceptabil
P1 M	H	lemn moale	mucegai, curățare, aplatizare	Slab	Acceptabil	Slab
P1 M G	H	lemn moale	mucegai, iradiere, aplatizare	Slab	Acceptabil	Slab
	S	lemn moale	mucegai, iradiere, aplatizare	Slab	Acceptabil	Slab
P2	niciunul	bumbac	fără mucegai, referință	Acceptabil	Bun	Acceptabil
P2 M	H	bumbac	mucegai, curățare, aplatizare	Slab	Bun	Acceptabil
P2 M G	H	bumbac	mucegai, iradiere, aplatizare	Slab	Bun	Acceptabil
	S	bumbac	mucegai, iradiere, aplatizare	Acceptabil	Bun	Acceptabil
P3	niciunul	lemn măcinat	fără mucegai, referință	Slab	Slab	Critic
P3 M	H	lemn măcinat	mucegai, curățare, aplatizare	Critic	Critic	Critic
P3 M G	H	lemn măcinat	mucegai, iradiere, aplatizare	Critic	Critic	Critic
	S	lemn măcinat	mucegai, iradiere, aplatizare	Slab	Critic	Critic

Nota: „Bun” indică faptul că materialul este în stare bună și nu are nevoie de nici o acțiune de conservare; „Acceptabil” indică faptul că se recomandă o acțiune de conservare, dar nu este neapărat necesară; „Slab” indică necesitatea conservării; și „Critic” indică faptul că acțiunea de conservare este necesară pentru a evita pierderea totală a materialului

În evaluarea efectuată de către SurveNIR, nu au fost identificate modificări serioase după dezinfectia prin iradiere la 8 ± 2 kGy. Aceste observații au sugerat că degradarea hârtiei cauzată de radiația gamma, este minoră până la 10 kGy, în comparație cu degradarea cauzată de mucegai.

Cu privire la evaluarea de către SurveNIR a acidității hârtiei din lemn măcinat, după iradiere și aplatizare, se observă că aciditatea este mai scăzută după aceste tratamente decât înainte de acestea. Acest lucru s-ar putea datora acelei mici cantități de apă cu pH neutru utilizată pentru aplatizarea foilor de hârtie încrețite.

Dat fiind faptul că SurveNIR se bazează pe o bază de date vastă de caracteristici originale corelate, software-ul SurveNIR este capabil să evalueze caracteristicile hârtiei, de exemplu, gradul de polimerizare sau indicele de rezistență la tracțiune. Gradul de polimerizare a ambelor tipuri de celuloză este prezentat în Figurile 12.3 și 12.4. Valorile prezente în aceste figuri reprezintă media a 30 de măsurători; eroarea estimată a valorii medii este de aproximativ 10% și se datorează neomogenității probelor. S-a demonstrat că mucegaiul degradează hârtia de celuloză din bumbac mai puțin decât pe cea din celuloză de lemn de esență moale, probabil datorită gradului mai ridicat de cristalinitate a celulozei de bumbac, în timp ce celuloza din lemn de esență moale conține mai multe zone amorfe care pot fi ușor hidrolizate de factori precum mucegai, enzime și acizi. După iradierea cu o doză de maximum 10 kGy, nu s-au observat modificări semnificative ale gradului de polimerizare atât pentru hârtia cu celuloză din bumbac, cât și pentru cea din lemn de esență moale.

12.6. ANALIZA SURVENIR - PARTEA 2, ABORDAREA CHEMOMETRICĂ

O altă abordare pentru a măsura efectele iradierii asupra hârtiei este aplicarea analizei componentelor principale (PCA). PCA este o analiză statistică multivariată utilizată la evaluarea și descrierea unei cantități mari de date, care folosește un număr mic de variabile relevante. Această aplicație a fost stabilită inițial în cadrul unui proiect european de cercetare a efectului poluanților atmosferici asupra îmbătrânirii hârtiei (STEP CT 90-0100) [12.6]. Datele experimentale pot fi adesea aranjate într-un tabel, o matrice cu p variabile, măsurate pe n obiecte. În cazul de față,

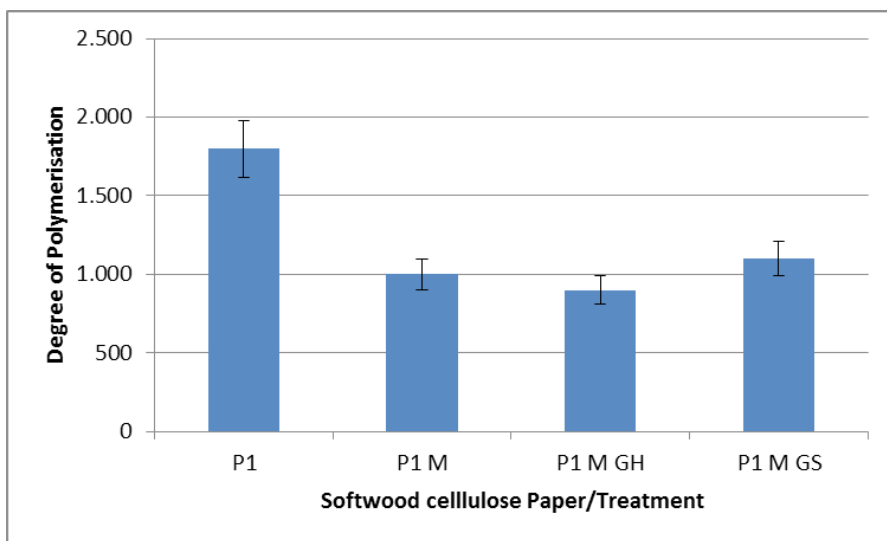


FIG. 12.3. Gradul de polimerizare a hârtiei cu celuloză din lemn moale înainte de mucegăire și iradiere (P1), după infectare cu mucegai și curățare uscată (P1 M) și după infectare cu mucegai, iradiere utilizând maxim 10 kGy și curățarea și aplatizarea ulterioară a suprafeței (P1 M GH și P1 M GS). H respectiv S indică rezultate obținute în cele două ateliere de conservare.

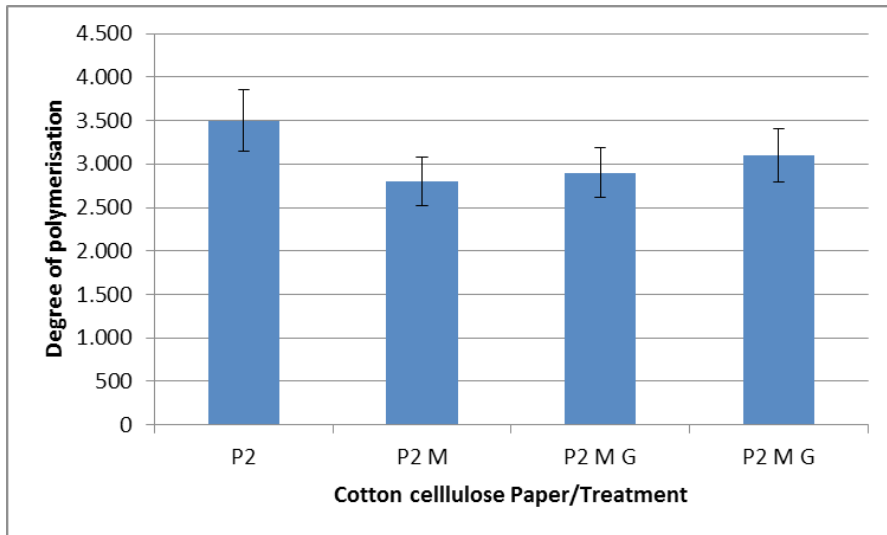


FIG. 12.4. Gradul de polimerizare al hârtiei cu celuloză din bumbac înaintea de mucegăire și iradiere (P2), după infectarea cu mucegai și curățare uscată (P2 M) și după infectarea cu mucegai, iradiere utilizând maxim 10 kGy, curățarea și aplatizarea ulterioară a suprafeței (P2 M GH și P2 M GS).

obiectele sunt probele de hârtie, iar variabilele sunt măsurătorile. PCA poate fi folosită pentru a obține o vedere de ansamblu a structurii datelor din matricea de date. PCA reduce dimensiunile matricelor de date care conțin variabile intercorelate. Un grafic bazat pe cele mai semnificative două componente, este prezentat în Fig. 12.5. Măsurătorile sunt prezentate într-o diagramă 2-D de ponderare a componentelor. Cu cât o metoda este mai departe de zero pe axă, cu atât mai bine poate fi aplicată metoda pentru determinarea efectului de îmbătrânire. Cele două cele mai importante componente (componenta 1 și 2) sunt calculate pe baza unei matrice de co-varianță utilizând un program software statistic. În această analiză, calculul ponderării componentelor a fost realizat prin intermediul unui program software. Parametrii pentru îmbătrânire folosiți în proiectul UE au fost comparabili cu cei utilizați de proiectul SurveNIR, iar PCA poate fi stabilită pe baza acestor date, deși proiectul SurveNIR nu a generat o cantitate mare de date. Pentru evaluare au fost utilizate spectrele NIR originale ale probelor. Rezultatele evaluării PCA sunt prezentate în Fig. 12.5.

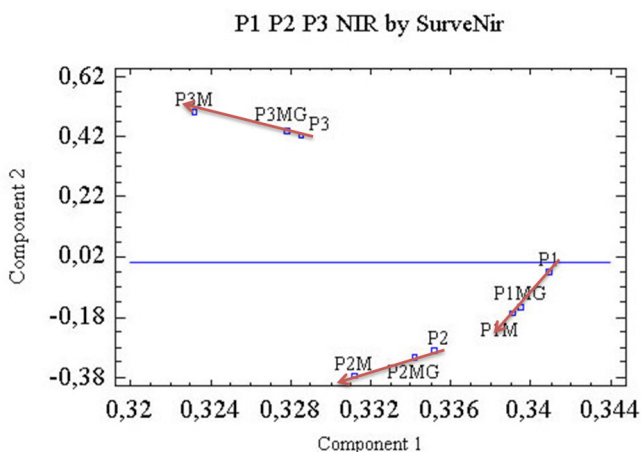


FIG. 12.5. Analiza PCA a spectrelor NIR aplicată probelor originale (P), probele infectate cu mușci (M) și probele curățate superficial și aplatizate, după iradiere cu radiații gamma (MG) până la 10 kGy.

Figura 12.5 prezintă nu numai componentele 1 și 2 pentru fiecare probă, dar și direcția îmbătrânirii (săgeată roșie), care a fost introdusă în aceste grafice cu începere de la proba inițială cel mai puțin îmbătrânită (de exemplu, hârtia P1, hârtia care conține celuloză din lemn de esență

moale) . Pentru cele trei eșantioane este clar că direcția săgeții este de la 1 la MG la M și că deteriorarea principală a materialelor este cauzată de mucegai (M) deoarece acest punct se află cel mai departe de punctul original. Această metodă de evaluare demonstrează din nou că iradierea utilizând doza de 8 ± 2 kGy (doză maximă de 10 kGy) determină o degradare mai mică decât mucegaiul.

12.7. CONCLUZII

Cercetarea descrisă în acest capitol a demonstrat că metoda de evaluare SurveNIR poate fi aplicată chiar și probelor care conțin mucegai. Este de menționat totuși că trebuie să se acorde atenție alegerii zonei de prelevare a probei pentru spectrul NIR, deoarece hârtiile mucegăite sunt extrem de neomogene. Locațiile de prelevare utilizate pentru această cercetare au părut vizual identice.

Pe baza metodei de evaluare SurveNIR, se poate concluziona că mucegaiul a cauzat cel mai înalt grad de degradare a materialelor din hârtie, fără a exista o diferență semnificativă între probele infectate cu mucegai, iradiate cu 8 ± 2 kGy, apoi urmate de aplatizarea manuală și probele infectate cu mucegai care au fost doar curățate uscat.

MULȚUMIRI LA CAPITOLUL 12

Mulțumiri și recunoștință pentru contribuțiile financiare la acest proiect sunt adresate următoarelor instituții: Synergy Health Olanda (fostul Isotron B.V.), Atelierul de conservare Helmond, Atelierul de conservare Sterken, Preservation Technology Netherlands, Nederlands Fotomuseum, Arhiva Națională a Olandei și Biblioteca Palatul Păcii.

BIBLIOGRAFIE LA CAPITOLUL 12

- [12.1] HAVERMANS, J.B.G.A., “Gamma disinfection of ligno cellulose historical collections”, *New Approaches to Book and Paper Conservation-Restoration* (ENGEL, P., SCHIRO, J., LARSEN, R., MOUSSAKOVA, E., KECSKEMETI, I., Eds), Verlag Berger Horn, Vienna (2011) 559–575.
- [12.2] ADAMO, M., et al., Gamma radiation treatment of paper in different environmental conditions: Chemical, physical and microbiological analysis, *Restaurator* **22** (2001) 107–131.

- [12.3] BROKERHOF, A.W., VAN ZANEN, B., DEN TEULING, A., *Fluffy Stuff: Integrated Control of Mould in Archives*, Netherlands Institute for Cultural Heritage (ICN), Amsterdam (2007) 39 pp.
- [12.4] STRLIČ, M., KOLAR, J., LICHTBLAU, D., “The SurveNIR project: A dedicated near infrared instrument for paper characterization”, *Museum Microclimates* (PADFIELD, T., BORCHERSEN, K., Eds), National Museum of Denmark, Copenhagen (2007) 81–84.
- [12.5] LICHTBLAU, D., “SurveNIR: A non-destructive evaluation of material conditions in conservation, actual and potential use”, *New Approaches to Book and Paper Conservation-Restoration* (ENGEL, P., SCHIRO, J., LARSEN, R., MOUSSAKOVA, E., KECSKEMETI, I., Eds), Verlag Berger Horn, Vienna (2011) 603–616.
- [12.6] HAVERMANS, J.B.G.A., “STEP CT 90–0100, the effects of air pollutants on the accelerated ageing of cellulose containing materials: Paper, preliminary results”, *Proc. Workshop on the Effects of Aging on Printing and Writing Papers*, Philadelphia 1994, ASTM Institute for Standards Research, Philadelphia, PA (1994).

Capitolul 13

INTERVENȚIA DE URGENȚĂ LA ARHIVA NAȚIONALĂ DE FILM

C.C. PONTA

Centrul de Iradierii Tehnologice IRASM,
Institutul Național de Fizică și Inginerie Nucleară HORIA HULUBEI,
Măgurele – Ilfov, România
Email: cponta2013@gmail.com

13.1. INTRODUCERE

La sfârșitul anilor 1990, la multă vreme neglijată Arhivă Națională de Film din România a început un efort de modernizare. A fost construită o nouă clădire, cu atmosferă controlată și sistem modern de depozitare. Înainte de relocarea în clădirea nouă, bobinele de film care prezentau urme de fungi (fig.13.1) au fost curățate folosind o mașină specială. Procedura a implicat periajul și spălarea filmului cu un detergent.



FIG. 13.1. O rolă de film care prezintă urme ale unui atac fungic (foto ANF, România).

Structura filmului favorizează atacurile fungice. Filmul fotografic este realizat dintr-un suport transparent pe care se aplică o emulsie de gelatină ce include atomi de argint (la filmul alb-negru) sau coloranți organici (la filmul color). Gelatina este o proteină hidrofilă care rămâne uscată la umiditate relativă normală, dar poate prelua apă din aer dacă umiditatea relativă este ridicată. Gelatina este o sursă excelentă de hrană pentru ciuperci. Ca o consecință gravă a contaminării, o parte din gelatină poate să dispară. În schimb, apar produse metabolice ale fungilor. Aceștia pot interacționa chimic cu coloranții sau cu suportul. Desigur, degradarea este direct proporțională cu dezvoltarea atacului fungic. Într-un mediu uscat, ciupercile nu se dezvoltă și filmele pot fi considerate stabilizate.

Se credea că atacul fungic asupra peliculei din Arhiva Națională de Film nu era activ și că urmele infestărilor anterioare ar fi putut fi spălate la acțiunea de curățare. Se credea că nu este nevoie de acțiuni de urgență. Descoperirea câtorva sute de role, în care contaminarea era activă și dezvoltată dezastruos, a fost o surpriză foarte neplăcută (Figura 13.2).



FIG. 13.2. Atac fungic activ pe bobina de film (foto ANF, România).

Semnele și consecințele unui potențial dezastru erau evidente:

- prezența unei contaminări foarte agresive pe un număr mare de role;
- distrugerea iminentă a filmelor dacă atacul biologic nu era oprit imediat;
- imposibilitatea de a acționa prin mijloace obișnuite, deoarece capacitatea de tratare a echipamentului de curățare era cu mult inferioară celei necesare intervenției.

A fost aleasă dezinfecția prin iradiere. În România, aceasta este singura metodă disponibilă pentru decontaminarea volumelor mari, într-un timp scurt. Literatura de specialitate nu a indicat nici un precedent și nu au existat informații cu privire la efectele secundare ale iradierii filmelor. Având în vedere aceste circumstanțe, acțiunea a fost precedată de un program de teste exploratorii.

13.2. EXPERIMENTE

Intensitatea atacului fungic a determinat utilizarea dozei de sterilizare de 25 kGy pentru decontaminare, aplicată la un iradiator cu cutii. În aceste condiții, la D_{\min} de 25 kGy, s-a estimat că D_{\max} va atinge valoarea de 50 kGy.

Testele microbiologice care au evaluat eficacitatea decontaminării au fost efectuate pe spori ai fungilor identificați și pe probe de film infectate, după tratamentul la 25 kGy. Toate testele referitoare la evaluarea efectelor colaterale au fost efectuate la doze de radiații de 25 și respectiv 50 kGy.

Degradarea mecanică se referă la degradarea suportului de film din material plastic. Acest tip de degradare face imposibilă utilizarea filmului și se compune din modificări ale distanței dintre perforații precum și/sau ai parametrilor de rezistență mecanică. Ambele conduc la ruperea filmului în timpul prezentării. Testele au fost menite să identifice modificări induse de iradiere a distanței dintre perforații, a rezistenței la tracțiune și a alungirii la rupere. Aceste teste au fost realizate de către compania Azomureș (o instituție românească care producea peliculă cinematografică de tip Fuji) și de Arhiva Națională de Film. În această cercetare au fost folosite atât echipamentele de testare, cât și procedurile utilizate în aceste

două instituții. Suportul filmelor a fost din poliester.

Degradarea informațiilor vizuale conținute pe film este rezultatul faptului că emulsia își pierde coerența sau chiar poate să dispară. Fenomenele apar ca urmare a faptului că gelatina este folosită de ciuperci ca sursă de hrană. În filmele color, chiar și coloranții (substanțe organice) pot fi surse de hrană pentru ciuperci. Pentru a evalua degradarea informațiilor vizuale, s-au măsurat modificările culorilor de bază (galben, magenta, cyan) într-o sensitogramă^{*)}. Testele de culoare au fost realizate pe peliculă Kodak, de către un laborator Kodak aprobat de Arhiva Națională de Film, folosind sensitograme obținute pe peliculă nouă, atât negativă, cât și pozitivă. Valorile densitometrice au fost măsurate înainte și după iradiere, pentru fiecare strat de culoare.

Teoretic, după iradiere, pot apărea modificări subtile în structura coloranților care nu sunt detectabile prin testele efectuate imediat după iradiere, dar care ar putea conduce la o creștere a vitezei de îmbătrânire a peliculei. Îmbătrânirea se manifestă prin slăbirea imaginii. În lipsa unui test standardizat pentru îmbătrânirea artificială a filmelor cinematografice, a fost folosit un test de îmbătrânire artificială adaptat. A fost adoptată și adaptată pentru filme o procedură termică folosită pentru îmbătrânirea accelerată a hârtiei. S-au utilizat temperaturi de până la 75°C și timpi de expunere de până la 6 ore. S-au evaluat sensitograme pe eșantioane de peliculă negativă și pozitivă, iradiate și neiradiate.

Au fost mășurați de asemenea radicalii liberi trapați în film. În acest scop a fost utilizat un spectrometru EPR construit la IFIN-HH. Măsurarea a fost efectuată la o zi după iradiere.

13.3. REZULTATE ȘI DISCUȚII

Toate testele – mecanice, de culoare și de îmbătrânire artificială – au indicat modificări induse de iradiere ce nu au depășit 6% pentru cea mai mare doză de iradiere – 50 kGy. Nu au fost identificați radicali liberi trapați, ceea ce nu este surprinzător. Zonele unde sunt trapați radicalii

^{*)} O sensitogramă este un instrument cantitativ pentru calibrarea filmelor color. Se compune dintr-o bucată de film care conține cadre de film de aceeași culoare, dar cu intensități diferite.

liberi sunt regiunile microcristaline ale polimerului. Poliesterii utilizați ca suport pentru peliculă nu au componentă microcristalină.

Informații detaliate despre proiect, instalația de iradiere, programul de testare și decontaminare au fost publicate în Ref. [13.1].

13.4. CONCLUZII

Rezultatele au justificat decontaminarea prin iradiere a rolelor de film infectate. Testele au durat două luni, iar tratamentul a câteva sute de role a durat două zile. Astfel, biodegradarea a fost oprită rapid și eficient și filmele au fost în afară de pericol în timp ce așteptau curățarea completă. După curățare, ele au fost depozitate în clădirea modernă (Figura 13.3).



FIG. 13.3. Filme cinematografice stocate în clădirea modernizată (foto ANF, România).

MULȚUMIRI LA CAPITOLUL 13

Adresăm mulțumiri călduroase doamnei dr. Anca Mitran, directoarea Arhivei Naționale de Film din România, pentru colaborare și sprijin, pentru încrederea în știință și deschiderea spre noi abordări pe care domeniul nuclear le poate oferi societății.

BIBLIOGRAFIE LA CAPITOLUL 13

- [13.1] MITRAN, A., PONTA, C.C., DANIS, A., “Traitement antimicrobien des films cinématographiques au moyen du rayonnement gamma”, La conservation à l'ère du numérique, Actes des quatrièmes journées internationales d'études de l'ARSAG, Paris, Groupe Lienhart Press, Paris (2002) 235–248.

Capitolul 14

KHROMA, PUIUL DE MAMUT ÎNGHEȚAT

L. CORTELLA
ARC-Nucléart,
Grenoble, France
Email: laurent.cortella@cea.fr

14.1. INTRODUCERE

În toamna anului 2008, a fost descoperit un pui de mamut înghețat în permafrostul Siberian din Republica Sakha, Federația Rusă. Acesta a fost numit Khroma, după râul pe marginile căruia a fost găsit. S-a dovedit a fi cel mai vechi pui de mamut recuperat vreodată (cel puțin 50 000 de ani), dar surprinzător, este cel mai bine conservat, judecând după starea excepțională a unora dintre țesuturile care sunt aproape proaspete. Totuși, partea superioară a corpului s-a uscat parțial, ca și cum ar fi mumificată, în timp ce spatele și burta au fost distruse, iar proboscisul și cocoașa cu grăsime lipsesc, fiind mâncate de vulpi polare.

Înainte de a fi studiată de oamenii de știință și prezentată publicului într-o cameră de refrigerare specială în cadrul unei expoziții organizată într-un muzeu francez (Figura 14.1), piesa a necesitat tratament sanitar, pentru inactivarea unor urme de bacterii sau a altor organisme potențial patogene pe care ar putea să le conțină. Datorită puterii sale de penetrare, iradierea gamma a apărut rapid ca singura tehnică capabilă să garanteze un tratament biocid nedistructiv, în întreg volumul specimenului. De fapt, a fost posibilă îndeplinirea unei duble cerințe, pe de o parte, eficacitate și fiabilitate în ceea ce privește manevra sanitară, fără a afecta, pe de altă parte, acest exemplar unic al patrimoniului biologic.

14.2. DISCUȚII

S-a optat pentru doza de 20 kGy, necesară pentru inactivarea *Bacillus anthracis*, care poate fi prezent în sol și în resturile de animale moarte, în special cele ale erbivorelor. Tratamentul „la rece” a fost efectuat în luna

iulie 2010 la Grenoble, Franța, cu puiul de mamut în stare congelată și în ambalajul său (un înveliș de protecție din plastic, plus un recipient izolator cu gheață uscată). Pentru a atinge această doză, specimenul a fost iradiat timp de 50 de ore, fiind răsucit, pentru a omogeniza doza. Doza maximă, pe flancurile sale, nu a fost mai mare de 40 kGy, ceea ce corespunde păstrării proprietăților materialelor organice și, în special, a structurii proteinelor țesuturilor de origine animală.

Dincolo de protejarea sănătății cercetătorilor și a publicului, acest tratament a îmbunătățit semnificativ conservarea specimenului. Într-adevăr, acțiunea bactericidă a iradierii a inactivat germenii prezenți în interiorul specimenului, limitând mecanismul natural de degradare a țesuturilor moi declanșat în momentul dezghețării. Tratamentul i-a ajutat cu siguranță pe oamenii de știință, asigurând condiții bune în timpul dezghețării pentru examenele „pe carne proaspătă”, efectuate în august 2010. Va ajuta, de asemenea, la împăiere, ce va fi întreprinsă după încheierea programului științific de studii asupra țesuturilor proaspete.

Chiar înainte de iradiere, au fost colectate probe de țesut în camera de iradiere a instalației ARC-Nucléart (Fig.14.2) pentru a păstra informația despre viața din vechime (de ex bacterii vechi), ce ar putea constitui subiectul unor studii biologice, precum și calitatea ADN. Într-adevăr, iradierea gamma provoacă leziuni în molecula ADN, dar, teoretic, doar un număr mic de leziuni se pot petrece la doza aplicată de 20 - 40 kGy, iar acestea nu alterează informațiile privind structura ADN.



FIG. 14.1. Puiul de mamut Khroma, în ambalajul său special de refrigerare, după tratamentul prin iradiere, efectuat în timpul expoziției de la Musée Crozatier, Le Puy-en-Velay, Franța.



FIG. 14.2. Colectarea probelor de la Khroma în camera de iradiere de la ARC-Nucléart, chiar înainte de tratament. Pentru această operație, puiul de mamut, închis într-un ambalaj dublu de plastic, a fost instalat pe recipientul său izolator. Palaeogeneticienii au practicat incizii prin aceste ambalaje pentru a colecta probele.

Capitolul 15

INTERVENȚIA DE URGENȚĂ LA O BISERICĂ PAROHIALĂ ÎN ROMÂNIA

C.C. PONTA

Centrul de Iradierii Tehnologice IRASM,
Institutul Național de Fizică și Inginerie Nucleară HORIA HULUBEI,
Măgurele – Ilfov, România
Email: cponta2013@gmail.com

15.1. INTRODUCERE

Uneori un monument are doar semnificație locală. În astfel de cazuri comunitatea locală trebuie să-și asume responsabilitatea pentru conservarea/restaurarea sa. Resursele limitate și lipsa de experiență fac din astfel de acțiuni sarcini dificile, mai ales în cazuri de urgență.

Biserica din Izvoarele – Prahova, o comună din România, a fost construită în 1935. Decorația interioară constând din piese de cult din lemn, mobilier și panouri pictate a fost creată de localnici. Unii dintre ei fuseseră meșteri pricepuți, angajați ai familiei regale a României. Mai ales pentru acest motiv, biserica este importantă pentru comunitatea locală. Inventarul constă dintr-un iconostas de $6\text{m} \times 8\text{m} \times 0,8\text{m}$, un balcon, jilțuri și alte piese religioase. Cele mai multe piese sunt făcute din lemn de tei. Deși decorația este frumoasă, biserica nu se numără printre piesele de patrimoniu aflate în îngrijirea și supravegherea Ministerului Culturii.

15.2. URGENȚĂ LA BISERICA PAROHIALĂ DIN COMUNA IZVOARELE

În timp, biserica a fost contaminată de mai multe ori cu insecte xilofage. De fiecare dată, a fost curățată cu metode locale – ștergerea suprafețelor cu o cârpă înmuiată într-un produs petrolier. Acesta intră în găurile de zbor și acționează ca un biocid. Tratamentul era periculos și eficacitatea sa era redusă, dar a avut avantajul că biserica a continuat să funcționeze în timpul tratamentului. Pictura nu a fost afectată de tratament. În urma atacurilor a rămas o structură degradată și găuri în lemn,

care favorizează reinfectarea.

Un nou atac de carii - *Anobium punctatum*, a apărut în toamna anului 2002. De data aceasta atacul a fost prezent pe mai multe piese. A fost extrem de virulent pe iconostas, a cărui structură era deja șubrezită (FIG. 15.1). Un biolog cu experiență a detectat o veche infecție fungică care fusese prezentă în lemnul recoltat din pădure. Acest lucru a slăbit rezistența în timp, favorizând infestarea cu insecte xylofage. Folosirea din nou a tratamentului tradițional ar fi fost prea riscantă. Era necesară o distrugere rapidă și totală a insectelor și o restaurare completă a pieselor de lemn.

Este știut că sezonul de zbor pentru *Anobium punctatum* în România este în luna mai. Pentru a evita prezența unei alte generații de insecte, decontaminarea a trebuit să fie finalizată înainte de acest moment.

După încercări de eradicare costisitoare și nereușite, folosind metode convenționale, preotul a luat în considerare decontaminarea prin iradiere. Aceasta a necesitat transportul întregului inventar de lemn, inclusiv a iconostasului, a balconului, a scaunelor sfinte și a altor piese religioase la Centrul de Iradiere Tehnologice IRASM (FIG. 15.2), aflat la ~120 km.

Centrul IRASM are un iradiator gamma de categoria IV ce dispune de un conveier cu cutii. Obiectivul principal al instalației este sterilizarea industrială a dispozitivelor medicale.

Atunci când nu este folosită, sursa de iradiere de ^{60}Co este plasată într-o bazin de apă cu adâncime de 6 m (Figura 15.3), pentru protecție. În timpul iradierii, care are loc în aer, sursa este ridicată din piscină. Fiind considerată o activitate de importanță națională, decontaminarea prin iradiere a artefactelor de patrimoniu, se efectuează fără costuri pentru utilizatori. În plus, pentru piesele ce nu încap în cutiile conveierului, iradierea are loc în afara traseului acestuia, fără a împiedica activitatea industrială principală (Figura 15.4). Se pot trata piese de mari dimensiuni.

15.3. DOZIMETRIE

Pentru tratament, piesele au fost plasate în camera de iradiere în zone cu o mapare dozimetrică 3-D deja efectuată. Geometria de iradiere aleasă a fost caracterizată printr-un raport între doza maximă și doza minimă mai mic de 2.

O doză de 2 kGy este considerată a fi suficientă pentru eradicarea oricărei forme de existență a insectelor (ou, larvă, pupă sau fluture) [15.1].



FIG. 15.1. Atac de Anobius punctatum asupra iconostasului

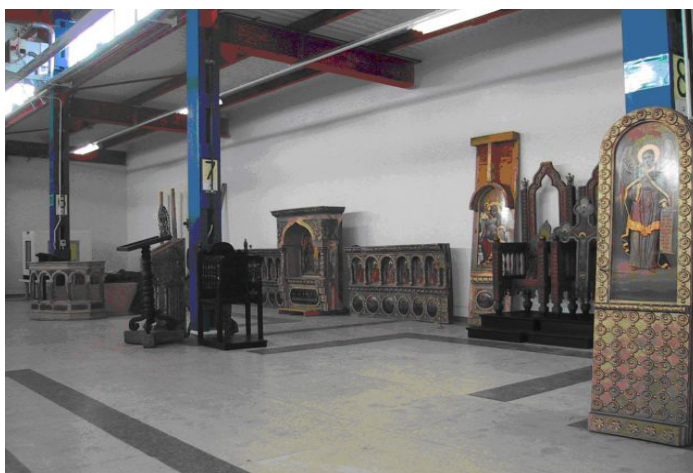


FIG. 15.2. Iconostasul dezasamblat și alte piese de lemn, în depozitul IRASM

Ciupercile sunt eradicate la o doză totală de maxim 10 kGy [15.2], în timp ce proprietățile mecanice ale lemnului nu sunt afectate la doze mai mici de 10 kGy [15.3]. Informațiile de mai sus și experiența iradiatorului au servit la proiectarea parametrilor iradierii – geometrie, etape, doze. Nu au fost efectuate teste suplimentare privind posibilele modificări ale materialelor tratate.

Pentru controlul iradierii s-a utilizat dozimetria ECB. Dozimetru

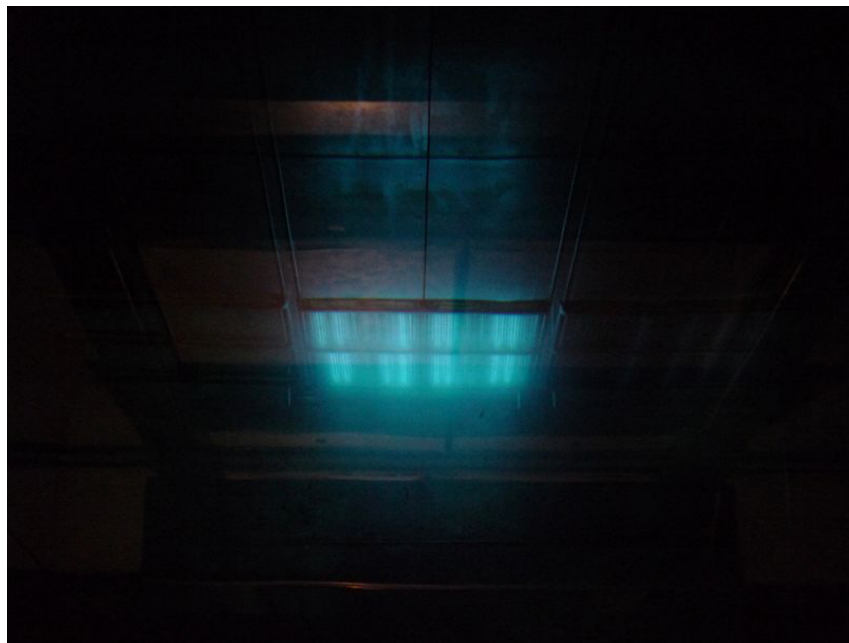


FIG. 15.3. Sursa de ^{60}Co în bazin. Lumina albastră se datorează efectului Cerenkov.



FIG. 15.4. Conveierul cu cutii al IRASM; stânga: în depozit; dreapta: în camera de iradiere

ECB este o fiolă de sticlă închisă. Parametrul măsurat – prin oscilometrie – este conductivitatea soluției. Fiiolele ECB nu pierd informația în timpul citirii acestora și nu se distrug. Iradierea poate fi deci oprită pentru a verifica doza acumulată și apoi reluată, dacă e cazul. Sistemul dozimetric ECB al IRASM este trasabil la laboratorul de referință Risø High Dose Reference Laboratory din Danemarca. Pentru a urmări dozele minime și maxime acumulate, pieselor tratate li s-au atașat până la 10 dozimetre.

Au fost aplicate doze cuprinse între 4,4 și 7,6 kGy [15,4].

15.4. CONCLUZII

Decontaminarea a utilizat iradierea gamma și s-a bazat pe efectul său biocid. Tratamentul prin iradiere are avantaje importante:

- nu prezintă nici un risc pentru operator; se efectuează numai în camera de iradiere, care este o incintă închisă și protejată;
- în artefactul tratat nu există reziduuri toxice sau radioactive; tratamentul nu prezintă nici un risc pentru restaurator, vizitator sau pentru mediul înconjurător;
- este eficient pentru întregul volum al obiectului, datorită penetrării profunde a radiației gamma; prin comparație, eficacitatea tuturor metodelor de tratare cu gaze (utilizând gaze toxice sau anoxie) este limitată de difuzie;
- eficacitatea este corelată cu doza de iradiere; doza este un parametru ușor de proiectat, de măsurat și de controlat;
- fiabilitatea este excelentă ca urmare a faptului că într-un iradiator câmpul de iradiere este perfect cunoscut;
- cantități mari de materiale pot fi tratate simultan;
- tratamentul în iradiatoare industriale se efectuează într-un timp scurt;
- are un cost redus.

Decontaminarea prin iradiere este metoda de ales, în special atunci când ne confruntăm cu cel puțin una dintre următoarele situații:

- este necesară o intervenție de urgență (de ex. Arhiva Medicală Alan Mason Chesney sau amenințarea cu antrax - Statele Unite ale Americii [15.5]);
- obiectul de tratat are structură complexă (de ex. mumia Ramses II - Franța [15.6]);
- obiecte mari/ansambluri (de ex. Arhiva Națională de Film, România [15.7]);
- metodele clasice nu pot fi aplicate (nu exista alternative);
- procesul trebuie să fie ieftin.

În cazul Bisericii din Izvoarele, au fost prezente toate circumstanțele de mai sus.

Decontaminarea prin iradiere a fost aplicată întregului inventar din lemn al bisericii parohiale. Iconostasul a fost dezasamblat și transportat împreună cu restul inventarului către instalația de iradiere IRASM. Au fost tratate aproximativ 10 m³ de articole din lemn de diferite forme și dimensiuni. Cea mai mare piesă a fost de 3,2 m lungime și 1,5 m lățime. Tratatul a durat 4 zile. După cum era de așteptat, nu au existat dovezi de modificare a culorilor picturii.

După tratament, piesele au fost reasamblate. Găurile de insecte au fost astupate după o procedură adecvată și aplicată curent în restaurare, iar picturile au fost restaurate. După 17 ani, nu au apărut semne de reinfecție (Figura 15.5).

Deși tratamentul prin iradiere este o metodă excelentă de decontaminare în situații bine definite, este foarte rar utilizată. Aceasta se datorează în principal asocierii eronate a tratamentului exemplificat mai sus, cu accidente nucleare și contaminare radioactivă.

Decontaminarea în regim de urgență a bisericii din Izvoarele a demonstrat utilitatea acestei abordări și rezultatul excelent pe care îl face posibil.



FIG.15.5. Poster arătând artefactele tratate prin iradiere din biserica Izvoarele.

MULȚUMIRI LA CAPITOLUL 15

Preotul Ioan Barat a fost forța neabătută din spatele acestui proiect. Conducându-l cu simțul responsabilității și de vrednicie, el a evaluat cu exactitate metoda de decontaminare prin iradiere, a luat decizia neconvențională de dezasamblare/reasamblare a iconostasului și a asumat toate riscurile legate de transport și restaurarea finală. Hotărârea și dedicația sa rămân exemplare. Faptul este cunoscut deja în întreaga lume, nu numai prin această carte, pe care nu a apucat să o vadă. IFIN-HH în România, dar și Agenția Internațională pentru Energie Atomică - Vienna, ca și un post de televiziune din Japonia, au ținut să facă reportaje speciale în comuna Izvoarele cu preotul Ioan și biserica sa.

Adresăm pioasă recunoștință unui om adevărat.

BIBLIOGRAFIE LA CAPITOLUL 15

- [15.1] KUNSTADT, P., Radiation disinfestation of wood products, *Rad. Phys. Chem.* **52** (1998) 617–623.
- [15.2] CSUPOR, K., DIVOS, F., GONCZOL, E., “Radiation induced effects on wood materials and fungi”, *Proc. 12th Intl. Symp. Nondestructive Testing of Wood*, Sopron, 2000, Univ. Western Hungary, Sopron (2000).
- [15.3] RAMIERE, R., “Protection de l’environnement culturel par les techniques nucléaires”, *Proc. Industrial Application of Radioisotopes and Radiation Technology*, Grenoble, 1981, IAEA, Vienna (1982) 255–270.
- [15.4] PONTA, C.C., Irradiation conservation of cultural heritage, *Nucl. Phys. News*, **18** 1 (2008) 22–24.
- [15.5] WELLHEISER, J., *Nonchemical Treatment Processes for Disinfestation of Insects and Fungi in Library Collections*, K.G. Saur Press, Munich (1992) 118 pp.
- [15.6] BALOUT, L., ROUBET, C., DESROCHES-NOBLECOURT, C., *La momie de Ramses II: Contribution scientifique à l’égyptologie*, Editions Recherche sur les Civilisations, Paris (1985).
- [15.7] MITRAN, A., PONTA, C.C., DANIS, A., “Traitement antimicrobien des films cinématographiques au moyen du rayonnement gamma”, *La conservation à l’ère du numérique, Actes des quatrièmes journées internationales d’études de l’ARSAG*, Groupe Lienhart Press, Paris (2002) 235–248.

Capitolul 16

CONSOLIDAREA UNEI SCULPTURI DE SECOL XVIII DIN LEMN POLICROM

Q.K. TRAN
ARC-Nucléart,
Grenoble, France
Email: quoc-khoi.tran@cea.fr

16.1. INTRODUCERE

O sculptură policromă datând din secolul al XVIII-lea, reprezentându-l pe Sfântul Vincent, a fost localizată în biserica Sainte Croix din Suzannecourt, Franța. Dimensiunile sale erau de 117 cm × 36 cm × 20 cm. Sculptura prezenta un grad foarte ridicat de deteriorare, cu lemn pulverulent în unele părți (Fig.16.1). Metoda cea mai potrivită pentru salvarea sculpturii s-a convenit a fi consolidarea completă, în profunzime, cu rășină polimerizabilă prin iradiere. Recomandarea a fost făcută de un conservator care a studiat starea sculpturii, luând în considerare toate interacțiunile posibile dintre rășină și stratul policrom, printre alți factori. Datorită fragilității stratului policrom, a fost necesar ca acesta să fie fixat pe suprafață înainte de impregnarea cu rășină. Pentru aceasta s-a utilizat o soluție apoasă de gelatină 5-10%, aplicată după operația de îndepărtare a prafului.

Pentru a avea acces la zonele degradate și pentru a asigura o consolidare de înaltă calitate, a fost necesar să se îndepărteze părțile pulverulente din lemnul sculpturii. Mai întâi, s-a efectuat o preconsolidare a straturilor superficiale, cu rășină acrilică Paraloid B72, la concentrație de 10%, dizolvată mai întâi în acetat de etil, pentru penetrare profundă, apoi în acetonă, pentru suprafață. Această etapă a fost necesară pentru stabilizarea mecanică a sculpturii în timpul următoarei faze – a transferului în recipientul de impregnare (Figura 16.2).



FIG. 16.1. Înaintea tratamentului, sculptura de secol XVIII - Saint Vincent, prezenta un grad foarte ridicat de deteriorare a lemnului, provocat de larve și insecte xilofage.



FIG.16.2. Preconsolidarea dinaintea de imersia în baia de rășină.

16.2. IMPREGNAREA ȘI POLIMERIZAREA PRIN IRADIERE A RĂȘINII

Sculptura preconsolidată a fost apoi introdusă în recipientul pentru impregnarea totală a structurii sale poroase cu rășină poliesterică nesaturată dizolvată în stiren, fără nici un alt solvent (Figura 16.3). În acest proces, orice gol din artefact este umplut de rășină, ducând la densificarea materialului. După o noapte de impregnare sub o presiune de azot de 3 bari, artefactul a fost scos din recipient, iar suprafața sa a fost curățată cu o cârpă pentru a îndepărta orice exces de rășină lichidă de pe sculptură. Apoi a fost apoi transferat în camera de iradiere pentru polimerizarea rășinii, operație însoțită de o contracție a volumului de aproximativ 10%, la trecerea lichidului în stare solidă (Figura 16.4). Creșterea moderată a temperaturii în timpul polimerizării (maxim 40-50°C), a fost obținută prin controlul debitului dozei de iradiere (de la 0,5 la 1 kGy/h). Doza totală de iradiere pentru polimerizarea completă a fost în intervalul 30-40 kGy. Pentru a îndepărta stirenul rezidual din structura compozitului nou format, s-a aplicat după iradiere o ventilație intensă timp de mai multe săptămâni.



FIG. 16.3. Impregnarea cu rășină într-un recipient folosind vid/presiune.



FIG. 16.4. Sculptura impregnată, în timpul expunerii la radiații pentru întărirea “in situ” a rășinii.

16.3. RESTAURAREA SCULPTURII DUPĂ CONSOLIDARE

Lucrările tradiționale de restaurare au fost efectuate pe sculptura consolidată: fixarea capului pe corp și umplerea unor zone cu mastic epoxidic (roșu), acoperite ulterior de masticul alb pentru aplicarea culorii finale. Stabilitatea generală a sculpturii a fost obținută prin modelare mecanică, după plasare pe suportul de susținere (figurile 16.5 și 16.6).

16.4. CONCLUZII

În concluzie, salvarea acestei sculpturi foarte degradate a fost posibilă prin impregnarea totală cu o rășină ce se întărește prin iradiere. Consolidarea puternică a diferitelor părți ale artefactului a facilitat restaurarea unor zone delicate, cum ar fi capul, asigurând o bună stabilitate a structurii generale. Rășina poliestică a pus în valoare aspectul policrom al sculpturii, iar densificarea lemnului cu această rășină hidrofobă, va face artefactul mult mai puțin sensibil la variațiile umidității relative în locul său de expunere din biserică. Succesul acestei operațiuni a fost posibil numai prin discuții, studii și acord între autoritățile de patrimoniu cultural, conservatorii și oamenii de știință din domeniul iradierii.



FIG. 16.5. Pașii de restaurare după consolidare: atașarea capului, umplerea golurilor și aplicarea masticului pentru retușarea culorilor.



FIG. 16.6. Sculptura restaurată, plasată pe suportul metalic de susținere, gata pentru a fi expusă (octombrie 2014) în biserica din Suzannecourt, Franța.

Capitolul 17

CONSOLIDAREA PARCHETULUI

Q.K. TRAN
ARC-Nucléart,
Grenoble, France
Email: quoc-khoi.tran@cea.fr

17.1. TRATAMENTUL UNUI PARCHET DE SECOL XVIII, DIN GRENOBLE, FRANȚA

În 1969, orașul Grenoble intenționa să restaureze un parchet din secolul al XVIII-lea din vechea primărie, care a devenit în 1970 Muzeul Stendhal. Parchetul fusese degradat prin atac de insecte xilofage. Louis de Nadaillac, inginer la laboratorul de iradiere gamma CEA Grenoble, care la acea vreme studia dezvoltarea de noi materiale compozite (pe bază de lemn, piatră), prin impregnarea cu monomeri acrilici și polimerizare prin iradiere gamma in situ, a propus consolidarea parchetului cu rășină. Louis de Nadaillac a fost pionierul utilizării radiațiilor ionizante pentru conservarea patrimoniului cultural în Franța.

Parchetul mozaicat are o suprafață de aproximativ 155m² și este alcătuit din cinci specii de lemn, iar zonele supuse traficului public au fost foarte alterate: grosimea inițială de 9mm a panourilor a fost redusă la jumătate prin eroziune biologică și mecanică. După diferite tipuri de încercări care au utilizat monomerul MMA ca agent de consolidare (polimerul format este PMMA - plexiglas, termoplast) și acordul organizațiilor de patrimoniu cultural, parchetul a fost dezmembrat, rezultând 750 de panouri din lemn cu greutatea totală de 2 tone. Menținute în rame metalice, panourile din lemn au fost impregnate sub presiune și apoi iradiate mai multe zile pentru polimerizarea completă a monomerului din lemn. Panourile consolidate au fost apoi returnate la primărie și reasamblate cu succes (figurile 17.1 și 17.2).

Patruzeci de ani mai târziu, parchetul este încă în stare foarte bună și este apreciat de numeroși vizitatori în timpul expozițiilor sau evenimentelor culturale din clădire.



FIG. 17.1. Parchetul din secolul al XVIII-lea, la 40 de ani după tratamentul de consolidare (Muzeul Stendhal, Grenoble, Franța).

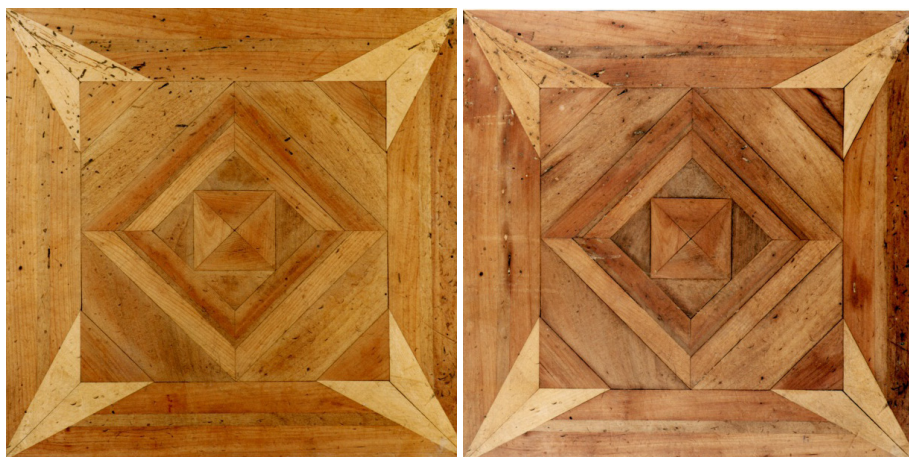


FIG. 17.2. Un panou de lemn înainte (stânga) și după (dreapta) tratamentul de consolidare.

17.2. TRATAREA PARCHETULUI DE SECOL XIX, LA PRIMĂRIA DIN VIVIERS, FRANȚA

Primăria din Viviers, Franța, are un parchet cu design geometric, care a fost creat la începutul secolului al XIX-lea. Stratul superior, cu grosime de la 4 la 7 mm, este alcătuit din mai multe specii de lemn (nuc, cireș, arțar) și este lipit pe un suport format din scânduri de castan, nuc etc. Acest parchet, de 86 m², aflat într-o cameră dedicată evenimentelor culturale din primărie (fostul palat episcopal) a necesitat dezinfectarea și consolidarea.

În colaborare cu o companie locală de restaurare a artefactelor și sub supravegherea unui arhitect specializat în monumente istorice, din cadrul Ministerului Culturii, parchetul a fost dezmembrat în 76 de panouri dreptunghiulare de câte 97 cm × 103 cm fiecare și un panou central cu o dimensiune de 194 cm × 206 cm (Figura 17.3). Optimizarea condițiilor de tratament a fost efectuată în 1997 și s-a decis ca pe spatele fiecărui panou să fie lipită o folie de placaj, iar panourile să fie plasate în cadre metalice care să mențină planeitatea în timpul iradierii, pentru a evita orice modificări dimensionale datorate polimerizării rășinii prin iradiere (Figura 17.4). Din anii 1970, monomerul acrilic (din care rezultă o rășină termoplastică) a fost înlocuit cu poliester nesaturat dizolvat în stiren. Rășina rezultată este termorezistentă, are o contracție mai mică și o polimerizare în aer mai bună. Tratamentul panourilor a fost efectuat în prima jumătate a anului 1998, iar parchetul a fost reasamblat la locul inițial la începutul anului 1999 (Figura 17.5).



FIG. 17.3. Stânga: un exemplu de panou de parchet înainte de tratamentul de consolidare; dreapta: impregnarea unor panouri de parchet.

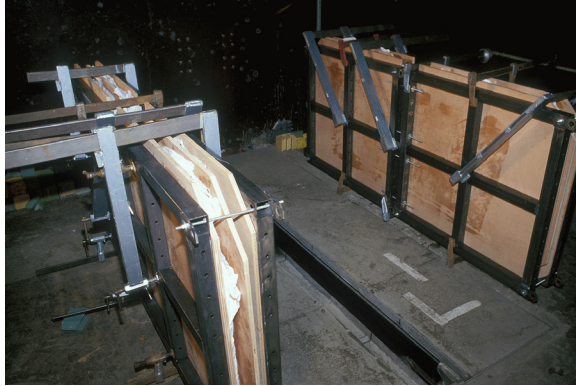


FIG. 17.4. Panouri de parchet impregnate menținute în rame de oțel în interiorul camerei de iradiere.



FIG. 17.5. După tratamentul de consolidare, parchetul a fost reasamblat în Primăria din Viviers, Franța.

Capitolul 18

CONSERVAREA UNOR COLECȚII MARI DE ARTEFACTE

J. PERKOWSKI

Institute of Applied Radiation Chemistry,

Lodz

W. GŁUSZEWSKI

Institute of Nuclear Chemistry and Technology,

Warsaw, Poland

Email: w.gluszewski@ichtj.waw.pl

18.1. INTRODUCERE

Obiectele istorice sunt expuse unui număr de factori adversi: chimici (coroziune și reacții chimice de diferite tipuri), fizici (agenți atmosferici, de exemplu schimbări de umiditate, temperatură), mecanici (vibrații, șocuri, impact etc.), precum și agenți biologici, probabil cei mai periculoși. Degradarea biologică a obiectelor istorice se datorează atât unor organisme mici și simple (bacterii, ciuperci, mușegaiuri), cât și unor organisme mai complexe (mai ales insecte). Distrugerea poate fi provocată și de păsări sau mamifere (în special rozătoare), dar aceste fenomene sunt destul de marginale și mult mai ușor de controlat.

Factorii fizici care pot fi utilizați în combaterea dăunătorilor includ temperatura, ultrasunetele, radiațiile ultraviolete și radiațiile ionizante (raze X, gamma, EB). Tehnicile de iradiere sunt ideale pentru situațiile în care este necesară dezinfectarea unui număr foarte mare de obiecte. Radiația ionizantă poate fi singura metodă de conservare care asigură controlul contaminării cu bacterii și mușegai într-un timp scurt. Alte avantaje ale iradierii gamma sunt penetrarea ridicată și faptul că eficacitatea sa nu depinde de forma și structura materialului, ceea ce permite dezinfectarea obiectelor cu dimensiuni mari și forme complexe.

În cele ce urmează este descris un exemplu de dezinfecție prin iradiere a unei colecții mari de artefacte. Acțiunea a fost realizată de Institutul pentru Aplicații ale Chimiei Radiațiilor (IARC) din Facultatea de Chimie

a Universității Tehnice din Lodz, Polonia. Beneficiar a fost Muzeul de Stat din Majdanek. Proiectul a implicat dezinfectarea a 60 000 de pantofi care au aparținut prizonierilor din lagărul de concentrare Majdanek. Muzeul, înființat în noiembrie 1944 în locația fostului lagăr, este o instituție în subordinea Ministerului Culturii și Patrimoniului Național din Polonia. Principalele sale atribuții sunt păstrarea ca mărturie a fostului lagăr de la Majdanek, cu clădirile și echipamentele sale, precum și fundamentarea istoriei lagărului.

18.2. ÎNCĂLȚĂMINTEA PRIZONIERILOR DIN COLECȚIA MUZEULUI DE STAT DIN MAJDANEK

În anii de după război, pantofii găsiți în tabără au fost clasificați în mai multe categorii, în funcție de origine, material, finisare și mărime. Categoriile au inclus pantofi civili pentru adulți și copii, saboți produși în lagăr, tălpi de lemn ce urmau să fie montate în atelierul de încălțăminte al lagărului și pantofi din paie. Cei mai mulți erau pantofii de adulți și copii care aparțineau prizonierilor de la Majdanek. Potrivit estimărilor, colecțiile muzeului conțin aproximativ 280 000 de pantofi civili: aproximativ 245 000 pentru adulți și aproximativ 35 000 pentru copii. Aceștia sunt realizați din piele, cârpă, cauciuc și lemn. Momentul exact al fabricării lor este necunoscut, dar se poate presupune că majoritatea au fost făcuți în anii 1930. Sunt reprezentate diferite stiluri și modele, printre care, atât pantofi de înaltă calitate (produși în fabrici din întreaga Europă, după cum mărturisesc etichetele păstrate), cât și pantofi simpli, realizați de artizani ce furnizau încălțăminte țăranilor din Polonia, Ucraina și Belarus. Starea încălțăminteii variază. Marea majoritate au tălpi și tocuri foarte uzate ca urmare a utilizării intense de către proprietarii lor (în special pantofii de bărbați, cu numeroase urme de reparații și peticiri repetate) sau urme de dezmembrări deliberate, în căutarea de valori și bani, adesea ascunse de deportați în pantofi (vezi Figura 18.1).

În 1998, muzeul a primit finanțare de la Fundația pentru cooperare polono-germană, pentru renovarea barăcilor 53 și 54. Ulterior au fost inițiate eforturi pentru a obține fondurile necesare prezervării încălțăminteii, păstrate temporar în 2 571 de pungă de iută, într-una din barăci (Figura 18.2). A fost solicitată asistența Consiliul pentru Protecția Locurilor de Luptă și Martiriu, a Societății pentru Protecția Lagărului

Majdanek și Ministerului Culturii și Patrimoniului Național. În 2001, muzeul a primit un grant de la Ministerul Culturii și a anunțat o licitație pentru conservarea parțială a 150 000 de obiecte de încălțăminte a prizonierilor. IARC, care a propus utilizarea dezinfecției neinvazive și a curățării mecanice, a fost selectat pentru a efectua lucrarea [18.1]. Din cauza constrângerilor financiare, s-a decis reducerea numărului de pantofi ce urmau să fie tratați la 60 000.

18.3. DEZINFECȚIA PRIN IRADIERE A 60 000 ÎNCĂLȚĂRI

Cei 60 000 de pantofi au fost împachetați în 500 de cutii (dimensiunile cutiilor au fost 60cm x 100cm x 35cm) și transportați la instalația de iradiere gamma a IARC. Pe baza unei analize microbiologice preliminare, a fost aleasă doza de 20kGy ca doză minim necesară pentru atingerea gradului dorit de dezinfecție. Pantofii au fost iradiați în cutii, care au fost plasate în camera de iradiere în 4 straturi a câte 14 bucăți. Pentru îmbunătățirea uniformității dozei absorbite, cutiile au fost deplasate și rotite la mijlocul perioadei de expunere. În aceste condiții de iradiere, variația dozei absorbite a fost de 7,5%. S-au efectuat analize microbiologice pentru bacterii și ciuperci, pe suprafața pantofilor, înainte și după iradiere. S-a obținut o reducere a numărului de bacterii între 95% și 99,9%, în timp ce reducerea numărului de funghi a fost între 80% și 97%. Pantofii, ca orice obiect dezinfecat, trebuiau protejați de o reinfectare. O cale de obținere a acestui deziderat este depozitarea, respectiv expunerea acestora în condiții potrivite.



FIG. 18.1. Starea încălțărilor - exemplu



FIG. 18.2. Expunerea în barăci a celor 60 000 de încălțări tratate

18.4. METODA DE CONTROL A DOZEI DE IRADIERE

Principala problema tehnică la iradierea artefactelor muzeale este asigurarea unei omogenități cât mai mari a dozei absorbite, pentru a asigura rezultatul microbiologic dorit. Acest lucru este foarte provocator, deoarece obiectele pot fi fabricate din diferite tipuri de material și au diferite dimensiuni, forme și alte caracteristici speciale, care pot necesita o grijă specială în procesul de dezinfecție cu radiații. Tehnologia de tratare include optimizarea geometriei de iradiere și poate implica chiar și modificarea geometriei surselor radioactive.

Camera de iradiere existentă la IARC, cu dimensiunile de 414 cm \times 350 cm \times 220 cm, era echipată cu 20 de surse dispuse într-un cerc, însumând o radioactivitate totală de aproximativ $0,74 \times 10^{15}$ Bq (20 kCi). Este posibilă iradierea obiectelor mari, dar cu diferențe semnificative a debitului dozei în diferite părți ale obiectului. Pentru calculul distribuției debitului de doză, a fost utilizat un program de simulare. Programul permite utilizatorului să calculeze rapid distribuția dozei în funcție de poziția obiectului în cameră, de grosimea și de tipul materialului absorbant de radiații. Rezultatele obținute au făcut posibilă elaborarea unui plan optim pentru desfășurarea procesului de iradiere.

BIBLIOGRAFIE LA CAPITOLUL 18

- [18.1] OLESIUK, D., Obuwie więźniarskie w zbiorach Państwowego Muzeum na Majdanku, Zeszyty Majdanka **24** (2008) 235–262.

Capitolul 19

IRADIAREA GAMMA PENTRU DECONTAMINAREA MICROBIANĂ A PATRIMONIULUI CULTURAL: STUDII DE CAZ CU PERGAMENT ȘI PLĂCI CERAMICE

S. CABO VERDE, I. NUNES, T. SILVA, M.I. DIAS,
M.I. PRUDÊNCIO, M.L. BOTELHO

Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares, Instituto Superior Técnico,
Universidade de Lisboa, Portugal

Email: iprudenc@itn.pt

19.1. INTRODUCERE

Astăzi, pe măsură ce apar noi provocări, au crescut preocupările privind protejarea patrimoniului, iar rezultatul este o evoluție constantă a tuturor domeniilor de conservare și restaurare. Pe lângă deteriorarea care se produce odată cu trecerea timpului, majoritatea artefactelor ce alcătuiesc moștenirea culturală și artistică, pot fi afectate de factori de mediu, precum și de organisme și microorganisme care atacă și pot provoca schimbări estetice [19.1]. Deteriorarea microbiană este provocată de mediul înconjurător precum și de proprietățile fizico-chimice ale materialelor ce constituie artefactele [19.2, 19.3]. Microorganismele pot provoca alterarea suprafețelor materiale printr-o varietate de mecanisme, precum formarea biofilmelor, reacții chimice cu substratul, pătrunderea fizică în substrat sau producerea de pigmenți [19.4-19.6]. Pentru a diagnostica procesele de biodeteriorare și pentru a proiecta măsuri eficiente de biocontrol, trebuie investigate atât asocierile microbiene, cât și materialele.

Cercetarea biodeteriorării obiectelor de patrimoniu este importantă pentru dezvoltarea și optimizarea metodologiilor care ajută la prevenirea degradării acestora. Pentru decontaminarea și conservarea artefactelor patrimoniului cultural, au fost elaborate măsuri preventive și curative. Unele dintre proceduri sunt pe bază chimică, cum ar fi utilizarea pesticidelor și a fumiganților [19.7]. În ciuda potențialului lor de decontaminare incontestabil, substanțele chimice utilizate (de exemplu oxid de etilenă, bromură de metil și fluorură de sulfură) sunt toxice pentru oameni. Tratamentele non-chimice includ modificarea atmosferei – privarea de oxigen,

anoxie [19.8], tratamente termice sau expunere la radiații ionizante [19.9, 19.10]. Există unele limitări la aceste proceduri. De exemplu, o atmosfera modificată poate fi toxică pentru personalul care o aplică, tratamentele la rece induc probleme de umiditate în camere, în timp ce temperatura ridicată poate duce la oxidare și îmbătrânire artificială. Este necesară dezvoltarea unor noi abordări în ceea ce privește procedurile de decontaminare, conservare și restaurare.

Iradieră gamma s-a dovedit a fi o alternativă curată și sigură pentru tratarea obiectelor cu atac biologic. Capacitatea mare de penetrare a radiației gamma, împreună cu posibilitatea de a aplica metoda la multe tipuri de materiale diferite (spre deosebire de tratamentele termice), fac din iradiere o alternativă atractivă în conservarea și decontaminarea artefactelor culturale [19.11, 19.12]. În ciuda faptului că a fost folosită de peste 50 de ani în decontaminarea arhivelor și a materialelor de bibliotecă [19.9, 19.13, 19.14], există încă rezerve cu privire la aplicabilitatea acesteia pentru unele materiale, dintre care pergamentul este un exemplu rezolvat cu succes, în timp ce plăcile ceramice glazurate sunt încă nerezolvate. Pentru aplicarea corectă a tehnologiilor cu radiații, ca tratament alternativ pentru obiectele de patrimoniu cultural, trebuie folosită o abordare multidisciplinară adaptată fiecărui caz în parte.

În cele ce urmează va fi discutată critic iradierea gamma ca tratament alternativ de conservare a plăcilor ceramice glazurate și a pergamentului. Metodologia s-a bazat pe evaluarea inactivării microbiene și a efectelor colaterale, potențiale, ale iradierii gamma asupra artefactelor culturale. Această lucrare a fost realizată de o echipă multidisciplinară lucrând cu echipamente adecvate, la Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares (C2TN), Portugalia. Resursele majore ale echipei au inclus facilități de iradiere (un iradiator experimental cu ^{60}Co și un accelerator liniar), precum și laboratoare de microbiologie și de caracterizare a materialelor.

19.2. PERGAMENT – STUDIU DE CAZ

Pergamentul a fost, împreună cu papirusul, unul dintre cei mai importanți strămoși ai hârtiei. Este un material organic natural care constă din piele de animal (capră, oaie sau vițel) tratată special. Pergamentul este bogat în compuși cum ar fi colagenul, cheratina, elastina, albumina și globulina, care îl fac un substrat nutritiv excelent, în special pentru

comunitățile fungice [19.3].

Scopul acestui studiu a fost evaluarea fezabilității decontaminării pergamentului prin tratament cu radiații gamma, ca alternativă la metodele clasice cu chimicale toxice și la alte metode de decontaminare non-chimice. Obiectivele specifice au fost estimarea: (i) dozei minime de iradiere (D_{\min}) pentru decontaminarea microbiană a pergamentului și (ii) dozei maxime de iradiere gamma (D_{\max}) care nu alterează semnificativ proprietățile fizice ale pergamentului. Pentru a atinge aceste obiective, după expunerea la diferite doze de iradiere gamma, au fost studiate modelele de inactivare microbiană și efectele asupra culorii și texturii pergamentului.

Au fost iradiate în condiții atmosferice normale, la temperatura camerei, eșantioane de pergament din arhiva Universității din Coimbra. S-a folosit o sursă experimentală de ^{60}Co (Precisa 22; Graviner, UK) existentă la C2TN. Optimizarea geometriei de iradiere și a debitului dozei de tratament au fost stabilite utilizând dozimetrul de referință Fricke. Dozele aplicate au fost de 2 până la 30 kGy la debit maxim de doza de 3,1 kGy/h. Doza absorbită de material a fost monitorizată utilizând dozimetre de rutină, calibrate (Perspex, Harwell).

Modelele de inactivare microbiană a microbiotei pergamentului și a *Cladosporium cladosporioides* au fost evaluate folosind o metodă distructivă validată [19.15]. Textura și culoarea eșantioanelor au fost măsurate înainte și după iradiere, utilizând un analizor de textură (Figura 19.2) și un colorimetru electronic.

Pe baza metodologiei aplicate, eșantioanele de pergament au prezentat valori ale încărcăturii microbiene mai mici de 5×10^3 unități formatoare de colonii (UFC)/ cm^2 pentru microbiota totală și mai mici de 10 UFC/ cm^2 pentru propagulele fungice. Având în vedere contaminarea inițială scăzută a eșantioanelor de pergament, nu a putut fi pusă în evidență o tendință a inactivării pentru microbiota pergamentului natural, în special în ceea ce privește comunitatea fungică. Totuși, după contaminarea artificială, la doze mai mari de 4 kGy, a fost obținută o eficiență de inactivare microbiană mai mare de 90% (corespunzând unei scăderi a populației microbiene de 1 log) pentru toate probele de pergament [19.15].

Pentru a propune o doză minimă de iradiere gamma pentru decontaminare, s-au utilizat probe de pergament contaminate artificial cu *C. cladosporioides* (tulpină izolată din pergament și din aerul interior al arhivei) [19.17], deoarece nivelul de contaminare naturală nu a permis o

identificare clară a răspunsului inactivării la iradierea gamma. Curba de supraviețuire obținută pentru *C. cladosporioides* este prezentată în figura 19.3.

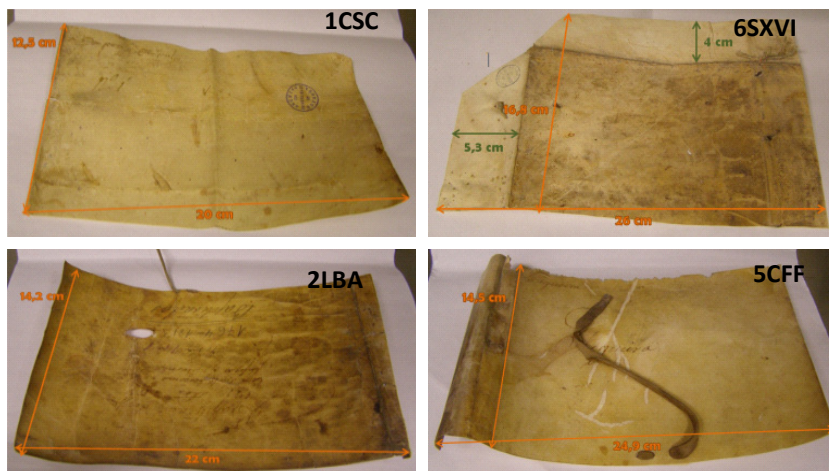


FIG. 19.1. Eșantioane de pergament folosite în studiu primite de la arhiva universității portugheze.

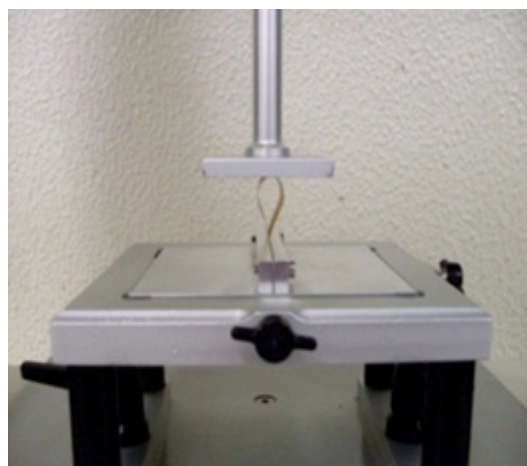


FIG. 19.2. Analizor de textură folosit pentru a testa eșantioanele de pergament. Această metodă permite determinarea energiilor de compresie și decompresie, a forței de străpungere și a elasticității materialului testat. Suportul din aluminiu al probei a fost proiectat pentru a se potrivi cu analizorul texturii, fiind utilizat și pentru determinarea durității și a elasticității [19.16].

Nu s-au găsit modificări substanțiale în duritatea, elasticitatea sau culoarea eșantioanelor de pergament, pentru intervalul testat de doze de iradiere gamma [19.16]. Au existat totuși unele diferențe semnificative de culoare între eșantioane la diferite doze de iradiere; aceste diferențe se puteau datora variabilității intrinseci a culorii eșantioanelor. Rezultatele noastre evidențiază complexitatea și neuniformitatea naturală a documentelor scrise pe pergament, care sunt principalele dificultăți întâlnite în analiza texturii pergamentului și în analizele de culoare [19.16].

Având în vedere rezultatele obținute în acest studiu, o doză de 30 kGy poate fi considerată inofensivă și astfel, a fost propusă ca D_{\max} ce poate fi aplicată în tratamentul de decontaminare a pergamentelor. Pe baza eficienței de inactivare obținută pentru microbiota naturală a pergamentului și a cineticii de inactivare a *C. cladosporioides*, rezultatele noastre sugerează o doză de 5 kGy ca D_{\min} de decontaminare pentru pergamentele analizate.

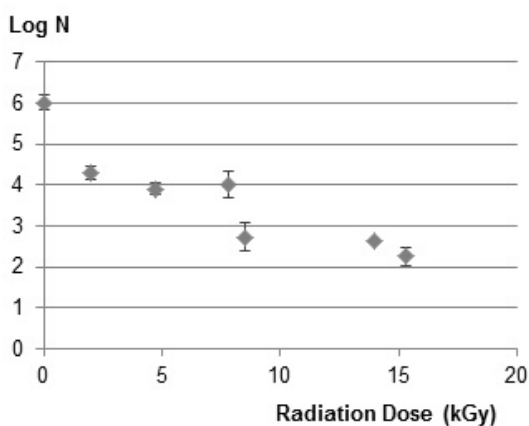


FIG. 19.3. Curba de supraviețuire a *Cladosporium cladosporioides* la iradierea gamma a pergamentului. Barele de eroare corespund intervalelor de încredere de 95% în ceea ce privește valorile medii ($1 < n < 50$; $\alpha = 0,05$). Tulpina *C. cladosporioides* a arătat o curbă sigmoidală de supraviețuire la radiații gamma. O scădere cu 2 log (eficiență de inactivare de 99%) a fost obținută pentru *C. cladosporioides* după expunerea la o doză de 5 kGy.

Ca rezultat al acestui studiu, o carte din pergament aparținând arhivei universității, a fost decontaminată cu succes la doza de 5 kGy (Figura 19.4).

19.3. PLĂCI CERAMICE GLAZURATE - STUDIU DE CAZ

Printre bunurile culturale, ceramica și în special, plăcile glazurate („azulejos” în portugheză și spaniolă, de la denumirea arabă „al-zuléija” sau „al-zulajju”) merită o atenție deosebită în regiunea mediteraneană, unde au fost folosite multă vreme pentru decorarea clădirilor. Azulejos se regăsesc în multe clădiri istorice portugheze din secolele XVII-XIX. Majoritatea acestor plăci ceramice prezintă diferite semne de degradare, în principal datorită expunerii într-o serie de ambianțe diferite, la exteriorul clădirilor [19.18]. Scopul principal al acestui studiu a fost de a evalua aplicabilitatea iradierii gamma ca tratament de decontaminare a plăcilor ceramice glazurate. Studiile de inactivare microbiană s-au efectuat utilizând ca obiect de studiu panoul ceramic Quinta de Santo António (sec. XVII, Muzeul National al Ceramicii din Portugalia) (Figura 19.5), care prezenta semne de deteriorare și făcea parte inițial dintr-o fântână.

Probele de ceramică din panou au fost iradiate în condiții atmosferice normale, la temperatura camerei, folosind o sursă experimentală de ^{60}Co (Precisa 22; Grainer, UK), existentă la C2TN [19.10]. Probele de ceramică au fost plasate individual în pungi de plastic sterile și iradiate la doze de 1, 2 și 4 kGy, debitul dozei fiind de 1,7 kGy/h. Dozele absorbite au fost monitorizate cu dozimetria de rutină (dozimetre Harwell).

Pentru estimarea încărcăturii microbiene inițiale a probelor și a supraviețuitorilor după fiecare doză de iradiere, a fost utilizată metoda nedistructivă de prelevare cu tampon. Curba de supraviețuire (Figura 19.6) a sugerat că cinetica de inactivare pentru microbiota ceramicii glazurate nu urmează un model exponențial. Deși nu a fost posibil să se determine o valoare D_{10} , s-a observat o scădere semnificativă a populației microbiene de aproximativ de 25% ($p < 0,05$), la doze de iradiere mai mari de 2 kGy.

A fost analizat profilul morfologic al populației microbiene, înainte și după iradiere, pentru a înțelege cum a variat acesta cu doza de iradiere gamma aplicată. Rezultatele arată că, odată cu creșterea dozei, dispare tulpina bacteriană, inițial majoritară (61%), cu morfologie bastonaș fără spori, iar începând de la 4 kGy predomină fungii filamentoși (86%) [19.10]. Eficiența scăzută a inactivării obținute se poate datora eterogenității populației microbiene și constituției sale, deoarece ciupercile filamentoase sunt de obicei considerate mai rezistente la radiațiile gamma decât bacteriile.



FIG. 19.4. Cartea pe pergament tratată și restaurată utilizând o doză de decontaminare de 5kGy.



FIG. 19.5. Probe de ceramică glazurată utilizate în studiu.

Dincolo de inactivarea microbiană limitată, dozele de radiație gamma aplicate au determinat modificări ale caracteristicilor vizuale ale plăcilor ceramice glazurate, mai exact o creștere a opacității glazurii și o întunecare a suprafețelor fără pigment (Fig. 19.7), efecte nereversibile.

Rezultatele obținute în acest studiu de caz au arătat că iradierea gamma este inadecvată ca tratament de decontaminare a plăcilor ceramice glazurate. Pentru a elucida efectele colaterale iradierii gamma a plăcilor ceramice, vor fi efectuate studii suplimentare.

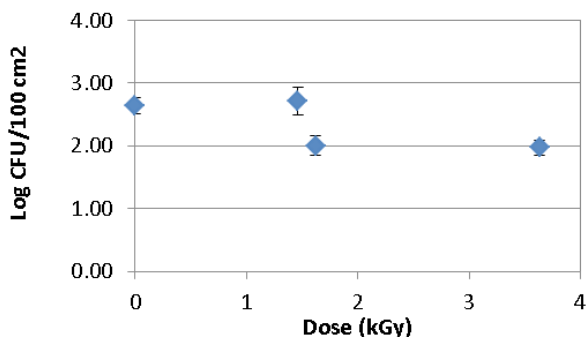


FIG. 19.6. Curba de supraviețuire a populației microbiene la iradiere gamma - eșantioane de plăci ceramice glazurate din panoul *Quinta de Santo António* ($3 <n <12$; $\alpha = 0,05$).

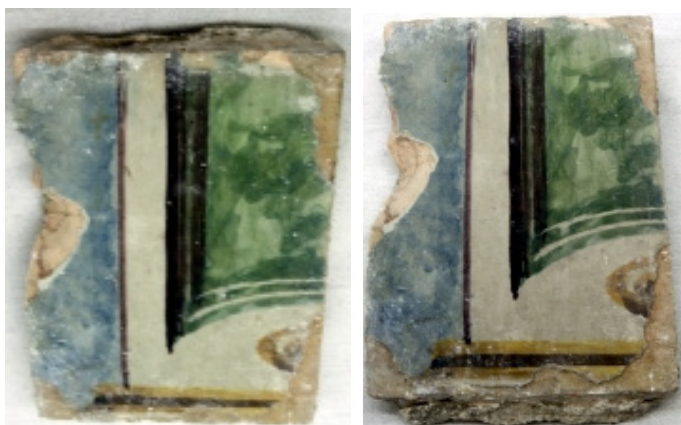


FIG. 19.7. Aspectul vizual al probelor de ceramică glazurată înainte de iradiere (stânga) și după iradiere la 4 kGy (dreapta).

19.4. CONCLUZIE

Îmbunătățirea cunoștințelor despre agenții de deteriorare este esențială în evaluarea corectă a pagubelor cauzate sau pentru planificarea corectă a măsurilor de restaurare. Microorganismele pot provoca daune artefactelor culturale printr-o varietate de mecanisme, inclusiv formarea biofilmelor, reacții chimice cu materialul, penetrarea fizică a substratului și producția de pigmenți. Tehnologiile cu radiații ionizante pot fi utilizate cu succes ca metodă alternativă de tratament pentru unele artefacte. Pentru a elabora măsuri eficiente de control, trebuie bine caracterizate și evaluate comunitățile microbiene, pe de o parte, materialul suport pe de alta parte și interacțiunile dintre ele. O strategie de tratament adecvată și o aplicare corectă a tehnologiilor cu radiații ca tratament alternativ pentru obiectele de patrimoniu cultural, pot fi concepute doar printr-o abordare multidisciplinară bazată pe aceste aspecte și adaptată fiecărui caz.

MULȚUMIRI LA CAPITOLUL 19

Autorii doresc să mulțumească Arhivei Universității din Coimbra pentru colaborare la această lucrare, mai ales pentru furnizarea eșantioanelor de pergament. Aducem mulțumiri, de asemenea, Muzeului Național al Ceramicii (Portugalia). Suntem recunoscători totodată Fundației pentru Știință și Tehnologie care a finanțat proiectele științifice Mycoarchive (PTDC/HAH/65262/2006) și RADIART (PTDC/HIS-HEC/101756/2008).

BIBLIOGRAFIE LA CAPITOLUL 19

- [19.1] DE LOS RÍOS, A., et al., Deteriorating effects of lichen and microbial colonization of carbonate building rocks in the Romanesque churches of Segovia (Spain), *Sci. Total Environ.* **407** (2009) 1123–1134.
- [19.2] GIANNANTONIO, D.J., KURTH, J.C., KURTIS, K.E., SOBECKY, P.A., Molecular characterizations of microbial communities fouling painted and unpainted concrete structures, *Int. Biodeterior. Biodegrad.* **63** (2009) 30–40.
- [19.3] TIANO, P., *Biodegradation of Cultural Heritage: Decay Mechanisms and Control Methods*, CNR-Centro di studio sulle Cause Deperimento e Metodi Conservazione Opere d'Arte, Florence (2002) 37 pp.

- [19.4] CAPPITELLI, F., et al., Synthetic consolidants attacked by melanin-producing fungi: Case study of the biodeterioration of Milan (Italy) cathedral marble treated with acrylics, *Appl. Environ. Microbiol.* **73** (2007) 271–277.
- [19.5] GIACOMUCCI, L., et al., Microbial deterioration of artistic tiles from the façade of the Grande Albergo Ausonia & Hungaria (Venice, Italy), *Microb. Ecol.* **62** (2011) 287–298.
- [19.6] STERFLINGER, K., Fungi: Their role in deterioration of cultural heritage, *Fungal Biol. Rev.* **24** (2010) 47–55.
- [19.7] BOND, E.J., Manual of fumigation for insect control, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome (1998).
- [19.8] KAPLAN, H.A., SCHULTE, L.K., Oxygen deprivation for the extermination of infesting architectural drawings, *Pap. Conserv.* **20** (1996) 22–26.
- [19.9] MAGAUDDA, G., The recovery of biodeteriorated books and archive documents through gamma radiation: Some considerations on the results achieved, *J. Cult. Herit.* **5** (2004) 113–118.
- [19.10] SILVA, T., et al., Perfis de contaminação e inativação microbiana em azulejos, *Estud. Arqueol. Oeiras* **19** (2012) 253–260.
- [19.11] ADAMO, M., et al., Gamma radiation treatment of paper in different environmental conditions: Chemical, physical and microbiological analysis, *Restaurator* **22** (2001) 107.
- [19.12] GONZALEZ, M.E., CALVO, A.M., KAIRIYAMA, E., Gamma radiation for preservation of biologically damaged paper, *Radiat. Phys. Chem.* **63** (2002) 263–265.
- [19.13] KATUŠIN-RAŽEM, B., RAŽEM, D., BRAUN, M., Irradiation treatment for the protection and conservation of cultural heritage artefacts in Croatia, *Radiat. Phys. Chem.* **78** (2009) 729–731.
- [19.14] SINCO, P., The use of gamma rays in book conservation, *Abbey Newsl.* **24** 2 (2000).
- [19.15] NUNES, I., et al., Bioburden assessment and gamma radiation inactivation patterns in parchment documents, *Radiat. Phys. Chem.* **88** (2013) 82–89.
- [19.16] NUNES, I., et al., Gamma radiation effects on physical properties of parchment documents: Assessment of D_{max} , *Radiat. Phys. Chem.* **81** (2012) 1943–1946.
- [19.17] NUNES, I., et al., Characterization of an airborne microbial community: A case study in the archive of the University of Coimbra, Portugal, *Int. Biodeterior. Biodegrad.* **79** (2013) 36–41.
- [19.18] OLIVEIRA, M.M., SANJAD, T.B.C., BASTOS, C.J.P., “Biological degradation of glazed ceramic tiles”, *Historical Constructions* (LOURENÇO, P.B., ROCA, P., Eds), University of Minho, Guimarães, Portugal (2001) 337–342.

Capitolul 20

DEZINFECȚIA OBIECTELOR DE PATRIMONIUL CULTURAL FOLOSIND ACCELERATORI DE ELECTRONI (EB)

W. GŁUSZEWSKI

Institute of Nuclear Chemistry and Technology,

Warsaw, Poland

Email: w.gluszewski@ichtj.waw.pl

20.1. INTRODUCERE

O caracteristică specială a tehnicilor de iradiere este posibilitatea dezinfecției unui număr mare de obiecte într-un timp scurt. În acest scop este utilizată de obicei radiația gamma, dar uneori poate fi folosit un accelerator de electroni – EB [20.1, 20.2]. Pentru iradierea gamma, timpul de iradiere poate varia semnificativ, în funcție de doză [20.3]. Atunci când sunt utilizați acceleratorii EB, timpul de tratament pentru un obiect individual aflat sub fascicolul de electroni este de câteva secunde. Așadar, în funcție de numărul de obiecte, procedura durează de obicei de la câteva minute, până la câteva ore (pentru colecții foarte mari de artefacte). Acceleratorii EB au fost utilizați cu succes pentru tratarea materialelor cu densitate scăzută și a obiectelor relativ subțiri. Mai jos este descrisă utilizarea unui accelerator de electroni pentru dezinfecția artefactelor de la Muzeul Armatei Poloneze.

20.2. NATURA RADIAȚIEI DIN FASCICOLUL DE ELECTRONI

Tratamentul cu EB este caracterizat prin debite de doză ridicate, dar penetrare scăzută. Electronii cu energie înaltă sunt generați de acceleratori capabili să producă fascicole de electroni pulsate sau continue. În momentul în care produsul/materialul de dezinfecțat, trece prin fața EB, energia electronilor este absorbită de material. La interacțiunea cu artefactele, radiația EB provoacă ionizarea și excitarea moleculelor, având ca rezultat modificarea diferitelor legături chimice. Ca și în cazul radiației gamma, electronii secundari joacă un rol major în realizarea acestor transformări și provoacă același efect ionizant.

În timp ce acceleratoarele EB comerciale au energii în intervalul 0,7 – 10 MeV și de obicei funcționează la o singură energie, progresele tehnologice au dus la dezvoltarea unor echipamente EB capabile să funcționeze la energii variabile. Pentru dezinfectarea obiectelor de patrimoniu cultural, sunt de obicei necesare acceleratoare EB cu energie mare, pentru a realiza penetrarea produsului și a ambalajului. La evaluarea iradierii EB în scopul dezinfecției, trebuie luată în considerare densitatea produsului, dimensiunile, orientarea și ambalarea sa. În general, iradierea EB funcționează cel mai bine atunci când este utilizată pe produse cu densitate scăzută, uniform ambalate. Electronii produși în acceleratoarele EB au o penetrare utilizabilă de aproximativ 3,5 mm în apă, pentru fiecare mega-electron-volt (MeV) din potențialul de accelerare. Un fascicul de 10 MeV va penetra astfel aproximativ 3,5 cm în apă. În materiale cu densitate mai mică, penetrarea va fi în mod corespunzător mai mare.

20.3. COMPATIBILITATEA MATERIALELOR CU TRATAMENTUL EB

Majoritatea materialelor din care sunt constituite obiectele de patrimoniu cultural ce trebuie dezinfectate, nu sunt stabile la iradiere. Unele materiale au demonstrat o degradare mai puțin accentuată când sunt procesate cu EB în comparație cu radiația gamma. Acest lucru se datorează unei diferențe semnificative în debitul dozei dintre cele două tehnologii de iradiere. Produsele tratate cu EB sunt expuse la iradiere un timp mai scurt, ceea ce are ca rezultat un efect oxidant mai scăzut asupra anumitor materiale [20.4]. Unele materiale celulozice, de exemplu, au o degradare mai mică și prezintă mai puține efecte de îmbătrânire pe termen lung la procesarea cu electroni accelerați decât la tratament gamma (vezi Tabel 20.1).

20.4. CONTROLUL LIVRĂRII DOZEI DE IRADIERE

Dezinfecția EB necesită controlul simultan al curentului de fascicol, lățimii baleiajului și al energiei fasciculului, precum și al vitezei conveierului care transportă produsul prin fascicul. Viteza conveierului este reglată, de regulă, cu circuite de feed-back din curentul fasciculului. Dacă curentul fasciculului se modifică în timpul procesului, se

TABEL 20.1. RANDAMENTUL RADIOCHIMIC DE PRODUCERE A HIDROGENULUI ȘI A CONSUMULUI DE OXIGEN, LA DIFERITE DEBITE DE DOZĂ, ÎN CAZUL IRADIERII CELULOZEI ȘI A ANSAMBLULUI CELULOZĂ + LIGNINĂ.

Randament radiochimic	EB (18000 kGy/h)		γ (7 kGy/h)	
	Celuloză	Celuloză + lignină	Celuloză	Celuloză + lignină
G_{H_2} [$\mu\text{mol/J}$]	0.334	0.211	0.219	0.206
$-G_{O_2}$ [$\mu\text{mol/J}$]	0.942	0.532	1.72	0.842

modifică corespunzător și viteza conveierului, pentru ca doza livrată să fie menținută constantă (Figura 20.1). După cercetări ample, s-a stabilit și acceptat la nivel internațional, că menținerea energiei fascicolului sub 10 MeV va exclude producerea radioactivității în obiectul iradiat.



FIG. 20.1. Conveierul și cutiile de aluminiu din acceleratorul de electroni al Institutului de Chimie și Tehnologie Nucleară (INCN), Varșovia, Polonia.

20.5. APLICAȚII COMERCIALE ALE EB ÎN CENTRE DE CERCETARE-DEZVOLTARE ȘI SERVICII

Într-o instalație EB tipică, proiectată pentru prelucrarea de volume mari, produsele pătrund în camera de iradiere pe un conveyer, printr-un labirint care permite accesul mărfurilor, dar oprește scăparea radiației (Figura 20.2). Camera de iradiere găzduiește acceleratorul în sine și, la fel ca întreaga instalație, este construită din beton gros pentru a realiza radioprotecția. Tratatamentul se realizează în camera de iradiere. După iradiere, materialele își continuă drumul pe conveyer până când părăsesc instalația. Zona tehnică conține echipamentul electric, electronic și de răcire necesare funcționării acceleratorului.

20.6. EXEMPLU DE ANGAJARE A UNUI ACCELERATOR PENTRU DEZINFECȚIA OBIECTELOR CU SEMNIFICAȚIE ISTORICĂ

În vara lui 1991, un număr semnificativ de obiecte au fost aduse în Polonia după exhumare din gropi comune la Harkov și Miednoje. Au fost: fragmente de uniforme, pantofi, distincții, fotografii și obiecte de zi cu zi.

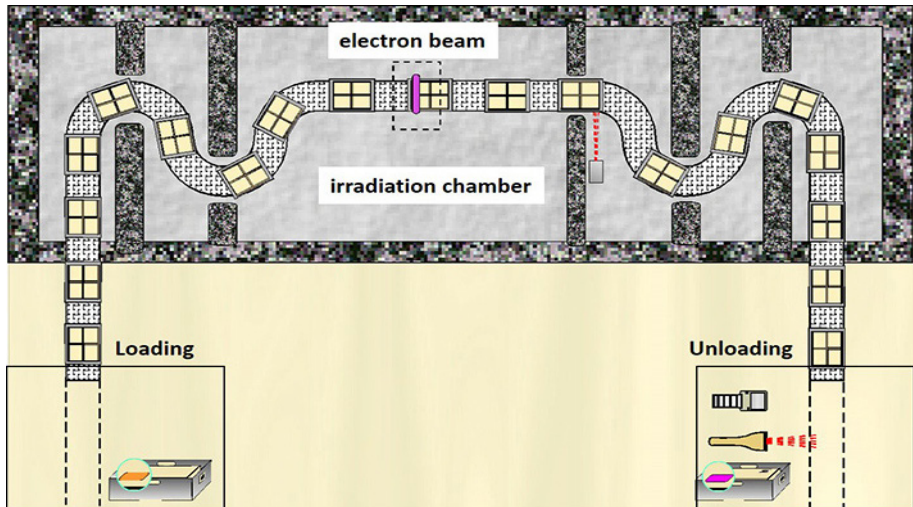


FIG. 20.2. Bloc-diagrama acceleratorului la instalația de sterilizare prin iradiere

S-a hotărât ca obiectele să fie transferate la Muzeul Armatei Poloneze, unde să fie păstrate împreună cu înregistrările aferente. Aceste colecții urmau să fie prezentate în expoziția din 25 noiembrie 1991. În această situație, a fost necesar să se sterilizeze rapid obiectele, astfel încât acestea să poată fi supuse cercetării în cadrul laboratorului central criminalistic al sediului poliției din Varșovia și la Institutul de Poliție din Legionowo. Institutul de Chimie și Tehnologie Nucleară din Varșovia (INCT) a fost invitat să efectueze tratamentul de sterilizare a artefactelor prin iradiere. După evaluarea mărimii obiectelor și a tipurilor de materiale din care erau făcute, INCT a decis să utilizeze pentru dezinfecție un accelerator EB. Artefactele au fost aduse în saci, plasate pe conveier într-un singur strat, în cutii din aluminiu și iradiate. Fascicolul a avut energie de 10 MeV, iar puterea instalației a fost de 10 kW. A fost aplicată o doză obișnuită de sterilizare de 25 kGy. Deoarece instalația este în mod obișnuit utilizată pentru sterilizarea dispozitivelor medicale, procedura a fost efectuată după orele normale de lucru (noaptea) și s-a luat precauția să nu există nici un contact între dispozitivele medicale și artefactele istorice. După tratamentul cu radiații, artefactele au fost duse la Muzeul Armatei Poloneze și la sediul poliției, unde au fost supuse lucrărilor de conservare necesare.

BIBLIOGRAFIA LA CAPITOLUL 20

- [20.1] CURIE, M., Sur l'étude des courbes de probabilité relatives à l'action des rayons X sur les bacilles, *Comptes rendus* **198** (1929) 102.
- [20.2] GŁUSZEWSKI, W., ZAGÓRSKI, Z.P., TRAN, Q.K., CORTELLA, L., Maria Skłodowska Curie: The precursor of radiation sterilization methods, *Anal. Bioanal. Chem.* **400** (2011) 1577–1582.
- [20.3] ZAGÓRSKI, Z.P., *Sterylicacja Radiacyjna z elementami chemii radiacyjnej i badań radiacyjnych*, Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Warsaw (2007) 272 pp.
- [20.4] GŁUSZEWSKI, W., Radioliza papieru, *Postępy Techniki Jądrowej* **Z.3** (2014) 23–25.

Capitolul 21

STADIUL ACTUAL AL APLICĂRII IRADIERII TEHNOLOGICE A PATRIMONIULUI CULTURAL ÎN ROMÂNIA

C.C. PONTA

Centrul de Iradiere Tehnologice IRASM,
Institutul Național de Fizică și Inginerie Nucleară HORIA HULUBEI,
Măgurele, România
Email: cponta2013@gmail.com

21.1. INTRODUCERE

În România, iradierea tehnologică se aplică la Centrul de Iradiere Tehnologice IRASM (Figura 21.1), un departament al Institutului Național de Fizică și Inginerie Nucleară Horia Hulubei (IFIN-HH), cel mai important institut de cercetare și dezvoltare din România. Centrul IRASM a fost înființat în 2001 cu ajutorul Agenției Internaționale pentru Energie Atomică (AIEA), care a finanțat parțial iradiatorul. Acesta a fost conceput pentru a promova utilizarea tehnologiilor cu radiații în industrie, agricultură și conservarea patrimoniului cultural. Pentru a-și putea îndeplini misiunea, instalația de iradiere este înconjurată de laboratoare analitice, unde se măsoară și se certifică efectele iradierii.



FIG. 21.1. Centru de Iradiere Tehnologice IRASM

Structura IRASM este prezentată în figura 21.2. Ansamblul conține un Laborator de Dozimetrie – care beneficiază de un mini-iradiator, precum și un Laborator Microbiologic – care validează sterilizarea prin iradiere. Laboratorul pentru analize Fizice și Chimice se află într-o clădire din apropiere. Acesta efectuează teste pentru identificarea alimentelor iradiate, teste mecanice, analize structurale și de compoziție, colorimetrice și altele. Un Laborator de Biocompatibilitate lucrează în strânsă cooperare cu IRASM pentru calificarea dispozitivelor medicale. Sistemul de management al calității la IRASM este certificat încă din anul 2002, de DQS Germania - organism de terță parte, ca fiind conform cu ISO 9001, ISO 13485 și ISO 11137. Laboratoarele au primit dovada competenței lor prin autorizări și acreditări, atât pe plan intern cât și internațional. Activitatea Laboratorului de Dozimetrie este trasabilă la National Physical Laboratory - UK, prin RISø High Dose Reference Laboratory - Danemarca.

Decontaminarea obiectelor patrimoniului cultural prin iradiere a fost considerată o activitate de interes național de la proiectarea instalației IRASM. Iradiatorul - categoria IV, include un conveyer de tip tote-box (cu cutii) și permite iradierea industrială, livrând doze mari într-un timp scurt. În camera de iradiere a instalației, alături de conveyer, există un spațiu unde se pot plasa spre iradiere, artefacte supradimensionate. Cărțile și alte artefacte mai mici, pot fi iradiate în cutiile standard ale conveyerului. Încă din perioada construirii instalației (în anii 1990), personalul IRASM a avut întâlniri periodice cu conservatori/restauratori, prezentând informații despre metoda iradierii și stabilind relații de încredere cu personalul muzeelor. Au

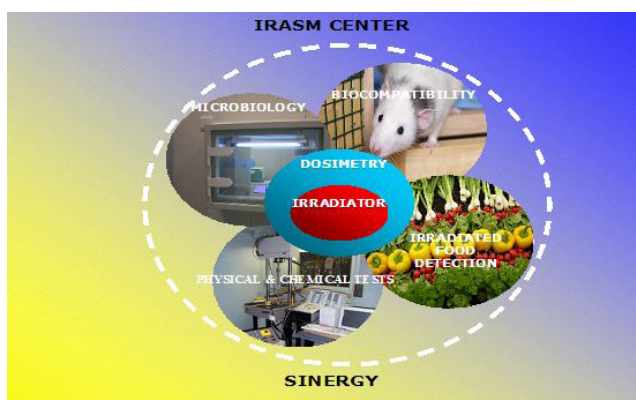


FIG. 21.2. Structura IRASM

existat și câteva cazuri în care artefacte de mici dimensiuni au fost decontaminate cu un radiator mai mic, existent la IFIN-HH. Ca urmare, au existat solicitări de decontaminare a artefactelor din muzee, încă din 2001, anul în care a fost inaugurat centrul IRASM. Prima piesa tratată a fost dulapul din figura 21.3., pentru Muzeul Cotroceni, București. Tratamentul a urmărit decontaminarea înainte de restaurare și implicit protecția restauratorului.

În anul următor, în 2002, a fost tratat întregul inventar de lemn (~10m³) al unei biserici parohiale din satul Izvoarele (vezi Capitolul 15). Tot în 2002 s-a desfășurat un important proiect pentru Arhiva Națională de Film. Au fost tratate mai multe duzini de bobine de film, grav contaminate cu mucegai (vezi Capitolul 13). Tratamentul a fost precedat de mai multe teste pentru evaluarea efectelor iradierii asupra componentelor peliculei cinematografice.

Activitatea IRASM referitoare la conservarea patrimoniului cultural s-a dezvoltat continuu și include în prezent proiecte de cercetare-dezvoltare, teze de doctorat, precum și cooperare internațională.

21.2. PROIECTE DE CERCETARE

La decontaminarea prin iradiere obținem distrugerea biodeteriogenilor - efectul urmărit, dar sunt posibile și efecte secundare care constau în modificări ale materialelor din care sunt construite artefactele. Efectul biocid, util, este bine cunoscut și nu necesită studii suplimentare. Uneori, sunt necesare studii suplimentare pentru a evalua efectele secundare în



FIG. 21.3. Dulap - Muzeul Cotroceni, București (arhiva IRASM, IFIN-HH).

cazul în care acestea sunt insuficient studiate. Această insuficiență este neobișnuită pentru lumea științifică de astăzi, unde este dificil să găsim un domeniu științific neexplorat. Situația, oarecum exotică, se explică prin anumite particularități, care fac din evaluarea efectelor iradierii asupra artefactelor culturale, un domeniu de cercetare neatractiv. Particularitățile despre care este vorba, conduc la o relevanță deseori discutabilă a analizelor efectuate și pot chiar să descalifice complet activitatea de cercetare. Astfel:

- Există un grad de inexactitate a oricărei măsurători. Acest impas se depășește prin două feluri de acțiuni: prin repetarea măsurătorii și prin calibrarea instrumentelor de măsură cu ajutorul unor materiale de referință. Măsurătorile precise se exprimă prin două valori numerice: o valoare de bază, la care se adăugă o abatere, un coeficient de incertitudine (de ex. 85 ± 2).
- Exprimarea unei măsurători printr-o singură valoare numerică ar putea fi acceptată în mod excepțional, doar dacă incertitudinea de măsură este mică, iar valoarea obținută este relevantă.
- Probele testate trebuie să fie identice. Probele de lemn, hârtie, piele sau textile nu pot fi identice, deoarece materiile prime de bază nu sunt omogene. Nu există două piese de lemn, foi de hârtie sau piese din piele care să fie identice. Valoarea măsurată de către investigator va include variații care rezultă din inexactitatea metodei de măsurare în plus față de cea care rezultă din lipsa omogenității probelor. Selectarea probelor de testare care se încadrează într-o gamă rezonabilă de omogenitate definită este dificilă și costisitoare chiar și pentru artefactele noi. Pentru artefactele vechi, este aproape imposibil.
- Cele de mai sus explică de ce măsurătorile efectuate pe obiecte de patrimoniu au un coeficient mare de incertitudine. Este evident că acesta trebuie precizat.
- Multe metode relevante de testare mecanică sau chimică sunt distructive. Sacrificarea unui artefact de patrimoniu cultural este însă inacceptabilă. Chiar și atunci când pot fi extrase din artefact mostre pentru astfel de teste (de exemplu, în cazul textilelor) statisticile rezultate sunt slabe.
- Extrapolarea rezultatelor obținute în testele efectuate pe materiale noi pentru a trage concluzii pentru materialele vechi nu este totdeauna relevantă.

- Îmbătrânirea artificială și îmbătrânirea naturală nu modifică în același fel artefactul. Pentru apropiere de adevăr, în Marea Britanie se desfășoară de câteva decenii un experiment costisitor privind îmbătrânirea naturală a pielii. După mai multe decenii vor deveni disponibile probe de piele cu vârste obținute prin îmbătrânire naturală, în condiții de mediu diferite. Un experiment similar, destinat să dureze 100 de ani, se desfășoară în Statele Unite ale Americii și se ocupă de îmbătrânirea naturală a hârtiei.

Principalele consecințe ale acestor dezavantaje sunt:

- Există foarte puține standarde aplicabile tratării artefactelor patrimoniului cultural. Din acest motiv, experimente diferite nu pot fi ușor comparate între ele spre a fi confirmate sau invalidate.
- Experimentele sunt adesea prezentate în cadrul întâlnirilor legate de patrimoniul cultural și apoi publicate în volume ale conferințelor, nu în reviste evaluate de colegi care garantează standarde științifice ridicate. Astfel de lucrări nu au recunoaștere în domeniul științific din care fac parte, dar uneori sunt luate ca referințe de conservatori/restauratori care nu au nici o opțiune alternativă.

IRASM a fost implicat în proiecte de cercetare și dezvoltare axate pe evaluarea efectelor secundare ale iradierii, ținând cont de dificultățile menționate mai sus. Dezavantajele au fost reduse la minim prin lucrul în echipe complexe care au inclus muzee și alte institute de cercetare cu profiluri complementare. Au fost trei proiecte axate pe efectele secundare ale iradierii în fiecare din următoarele domenii:

- Lemn și lemn policrom;
- Hârtie, arhive;
- Piele, pergament și textile.

Rezultatele științifice pot fi găsite în publicațiile enumerate în secțiunea 21.9.

Toate proiectele de cercetare au inclus tratarea artefactelor compromise găzduite în muzeele partenere, alte instituții culturale sau de către persoane particulare. Fiecare proiect a oferit ocazia de a promova cel mai important avantaj al decontaminării prin iradiere, dovedind că este metoda potrivită pentru situații de urgență, când volumele mari trebuie tratate rapid.

21.3. TRATAMENTE DE DECONTAMINARE

IRASM a tratat sute de metri cubi de artefacte din lemn, hârtie, piele și textile pentru muzee din București precum Aman, Severeanu, Cotroceni, Mogoșoaia și Muzeul Național de Istorie a României, muzee din alte orașe din România, cum ar fi Brăila, Iași și Sibiu, instituții religioase precum Mănăstirea Dintr-un Lemn, două biserici parohiale din Izvoarele, Arhiva Națională de Film, Arhiva Radio, Universitatea Națională de Arte, arhivele IFIN-HH, instituții și persoane private. Iradierea folosind cutiile conveierului a fost preferată pentru tratarea arhivelor, cărților, icoanelor, covoarelor mici și articolelor din piele. Pentru mobilier și alte artefacte supradimensionate, a fost utilizată iradierea statică. Doza minimă (D_{\min}) a fost de regulă $\sim 6\text{kGy}$, iar doza maximă (D_{\max}) a fost mai mică de 10kGy în majoritatea cazurilor. Sistemul de dozimetrie utilizat a fost ECB cu citiri oscilometrice.

Detalii despre tratamente mai speciale sunt prezentate mai jos.

21.4. DECONTAMINAREA UNOR SCULPTURI MODERNE ÎN LEMN

Sculptorul Laurențiu Mogoșanu lucrează în lemn putregăit (Figura 21.4). Găzduirea acestor artefacte într-un muzeu ar fi echivalentă accepțării unui cal troian, întrucât prezența lor în muzeu ar contamina mediul interior cu fungi și insecte. Decontaminarea prin iradiere este o soluție rapidă și fiabilă ce poate aduce acest tip de artefacte în circuitul muzeal.

Nicăpetre (nume real P. Bălănică) a fost un cunoscut artist român care a trăit în ultimii 30 de ani în Canada. El a donat orașului său natal, Brăila, o colecție de artă importantă, cuprinzând 85 de sculpturi din lemn. Pentru protejarea și punerea în valoare a donației, consiliul și muzeul municipiului Brăila au dedicat o clădire splendidă colecției, înființând Centrul Cultural Nicăpetre. Cele mai impresionante piese sunt sculptate în trunchiuri de stejar. Aceste sculpturi au fost grav atacate de ciuperci. A fost necesar să le dezinfectăm înainte de a le plasa în mediul controlat al centrului. Decontaminarea prin iradiere a fost singura soluție, fiind singura metodă eficace pentru piese din lemn cu dimensiuni și greutate mari – până la $2,5\text{m}$ și $\sim 300\text{kg}$. Tratamentul a fost efectuat în octombrie 2014 (Figura 21.5).



FIG. 21.4. DIRECȚIA TIMPULUI - sculptură în lemn putregăit de Laurențiu Mogoșanu (prin amabilitatea lui Laurențiu Mogoșanu).



FIG. 21.5. Sculptură monumentală în lemn de Nicăpetre: dreapta - în curtea muzeului din Brăila; stânga - pregătită pentru decontaminare la IRASM; (Foto Muzeul Brăila și IRASM, IFIN-HH).

21.5. DECONTAMINAREA ARTEFACTELOR SIMULTANĂ CU RESTAURAREA SPAȚIULUI EXPOZIȚIONAL

În cazul muzeelor Aman și Severeanu, clădirile au fost restaurate în intervalul de timp în care au fost decontaminate colecțiile. Această abordare este considerată un model deoarece numai acest tip de acțiune permite valorificarea beneficiilor decontaminării prin iradiere și evitarea recontaminării rapide. Instituțiile au dezinfectat prin iradiere întregul inventar. Artefactele decontaminate au ajuns în mediul curat și controlat doar după restaurarea spațiilor expoziționale. Aceeași abordare s-a regăsit la decontaminarea arhivei IFIN-HH (găzduită într-o clădire separată), colecția Perpesiccus din Muzeul Brăila (clădire separată) și arhivele Muzeului Mogoșoaia (spațiu delimitat în clădirea muzeului). Piesele tratate au fost găzduite la sediul IRASM până la finalizarea reparării și restaurării locațiilor originale (Figura 21.6).

21.6. DECONTAMINAREA ARHIVEI NAȚIONALE DE FILM

Zeci de role de film au fost păstrate neglijent, inundate și apoi neglijate în continuare, ducând la un atac fungic foarte grav în cadrul Arhivei Naționale de Film a României (Fig. 21.7).



FIG. 21.6. Mobilă din Muzeul Aman în așteptarea tratamentului de decontaminare.

În această situație catastrofală, tratamentul ales a fost dezinfecția prin iradiere. Nu se știa nici o intervenție similară, așa ca nu erau cunoscute efectele secundare ale iradierii asupra peliculei cinematografice. Prin urmare, tratamentul a fost precedat de o investigație complexă privind efectele secundare. Cercetarea s-a axat pe evaluarea efectelor iradierii asupra suportului mecanic și a culorilor fiecărui strat, pe îmbătrânire și pe acumularea de radicali liberi în materialul iradiat. S-au efectuat și teste microbiologice, deoarece atacul fungic a fost foarte sever. S-a luat decizia de a aplica tratamentul folosind iradierea în conveier la $D_{\min} = 25$ kGy. D_{\max} corespunzător a fost de 50 kGy.



FIG. 21.7. Atac fungic asupra unei role de film (foto Arhiva Națională de Film, România).

21.7. DECONTAMINARE PREVENTIVĂ A UNOR PANOURI PENTRU PICTURI PE LEMN

Uneori este profitabil să fii restaurator și pictor totodată. Ca restaurator, Elena Murariu știa foarte bine că lemnul uscat în pădure sau în condiții necontrolate poate fi infectat de ciuperci și astfel devine mai vulnerabil la insectele xylofage. Din acest motiv, în calitate de pictor, ea a luat o măsură preventivă în proiectul său important privind Martiriul Sfinților Brâncoveni. Ea a inclus tratamentul de iradiere în pregătirea suportului pentru picturile pe lemn (Figura 21.8).



FIG. 21.8. Martiriul Sfinților Brâncoveni - pictor Elena Murariu - panouri de lemn decontaminate preventiv și pictură policromă (foto Elena Murariu)

21.8. COOPERARE INTERNAȚIONALĂ

21.8.1. Cooperare cu Agenția Internațională pentru Energie Atomică (AIEA)

Cooperarea cu AIEA s-a dezvoltat neîntrerupt din 2005 și continuă și în momentul actual (2019) în cadrul unor proiecte europene dedicate conservării patrimoniului cultural, schimbului de cunoștințe, creerii de rețele și promovării cunoașterii. Următoarele activități importante au fost organizate de IRASM sau realizate cu specialiștii IRASM:

- organizarea și găzduirea unor ateliere regionale și cursuri de formare în 2007, 2011 și 2015;
- organizarea și găzduirea unei burse de grup în 2013;
- realizarea misiunilor de experți în Franța (2007, 2009), Grecia (2008), Azerbaidjan (2009), Ungaria (2011), Portugalia (2012) și Argentina (2016).

21.8.2. Cooperare cu ARC-Nucléart, Franța

Scopul principal al proiectului bilateral care a reunit IRASM și ARC-Nucléart (2013-2019) a fost crearea de rețele și transferarea în România a tehnologiei de consolidare prin iradiere a obiectelor poroase.

Metoda este folosită la Grenoble de mai mult de 30 de ani. Primul obiect consolidat în România utilizând tehnologia Nucléart a fost un obiect etnografic aparținând Muzeului Golești (Fig. 21.9).



FIG. 21.9. Imagini de la prima serie de experimente de consolidare prin iradiere la IRASM a unor artefacte poroase cu asistența specialiștilor ARC-Nucléart.

21.9. PUBLICAȚII SELECTATE

GEBA, M., et al., Gamma irradiation of protein-based textiles for historical collections decontamination, *J. Therm. Anal. Calorim.* **118** (2014) 977–985.

MOISE, I.V., STANCULESCU, I., MELTZER, V., Thermogravimetric and calorimetry study of cellulose paper at low doses of gamma irradiation, *J. Thermal. Anal. Calorim.* **115** (2014) 1417–1425.

MANEA, M.M., et al., Spectroscopic evaluation of painted layer structural changes induced by gamma radiation in experimental models, *Radiat. Phys. Chem.* **81** (2012) 160–167.

NEGUT, C.-D., BERCU, V., DULIU, O.-G., Defects induced by gamma irradiation in historical pigments, *J. Cult. Herit.* **13** (2012) 397–403.

MANEA, M.M., NEGUT, C.D., STANCULESCU, I.R., PONTA, C.C., Irradiation effects on canvas oil painting: Spectroscopic observations, *Radiat. Phys. Chem.* **81** (2012) 1595–1599.

- MOISE, I.V., et al., Establishing the irradiation dose for paper decontamination, *Radiat. Phys. Chem.* **81** (2011) 1045–1050.
- NEGUT, D.C., EPR study of gamma irradiation defects (Co60) induced in solids, PhD thesis, Bucharest University (2011).
- BRATU, E., MOISE, I.V., CUTRUBINIS, M., NEGUT, D.C., VIRGOLICI, M., Archives decontamination by gamma irradiation, *Nukleonika* **54** 2 (2009) 77–84.
- PONTA, C.C., Irradiation conservation of cultural heritage, *Nucl. Phys. News*, **18** 1 (2008) 22–24.
- NEGUT, D.C., PONTA, C.C., GEORGESCU, R.M., MOISE, I.V., NICULESCU, Gh., LUPU, A.I.M., Effects of gamma irradiation on the colour of pigments, *Proceed. SPIE* **6618** (2007).
- MITRAN, A., PONTA, C.C., DANIS, A., “Traitement antimicrobien des films cinématographiques au moyen du rayonnement gamma”, La conservation à l'ère du numérique, Actes des quatrièmes journées internationales d'études de l'ARSAG, Groupe Lienhart Press, Paris (2002) 235–248.

MULȚUMIRI LA CAPITOLUL 21

Mulțumim Ministerului Cercetării din România pentru sprijinirea proiectelor de cercetare cu acronimele ARCON, DELCROM și TEXLECONS, precum și a proiectelor bilaterale România-Franța C3/2013 și C5/2016. În toate acestea, IRASM, împreună cu muzee din țară și cu alte institute de cercetări, a avut posibilitatea să studieze și să aplice practic conservarea patrimoniului cultural prin iradiere.

Dorim, de asemenea, să mulțumim echipei franceze de la ARC-Nucléart pentru cooperarea deschisă și eficientă începută încă din 1993.

Recunoștința noastră se îndreaptă și către Agenția Internațională pentru Energie Atomică (AIEA) pentru interesul său pe termen lung în studiul și conservarea patrimoniului cultural, exprimat prin susținerea proiectelor regionale (europene) de cooperare tehnică RER 1006 (2005-2008), RER 8015 (2009-2011), RER 0034 (2012-2013), RER 0039 (2014-2015) și a proiectului de cercetare CRP F23032. Cooperarea cu AIEA a fost în mod constant utilă și stimulativă pentru echipa IRASM.

Capitolul 22

CONSERVAREA ÎN MASĂ, PRIN IRADIERE, A OBIECTELOR CULTURALE DISTRUSE DE RĂZBOI ÎN CROAȚIA

B. KATUŠIN-RAŽEM*, M. BRAUN**, D. RAŽEM*

* Ruđer Bošković Institute

Email: brazem@irb.hr

** Croatian Conservation Institute

Zagreb, Croatia

22.1. INTRODUCERE

Războiul din Croația, ce a avut loc între 1991 și 1995, a pus în pericol multe obiecte de importanță culturală. Ca parte a unui efort organizat de salvare a acestor obiecte, colecțiile multor muzee, galerii, biserici, biblioteci și arhive au fost mutate în spații de depozitare stabilite anterior, uneori improvizate [22.2-22.5]. Aproximativ 5000 de obiecte, cuprinzând aproximativ 3000 de altare, cu sculpturi policrome, părți de altare și alte obiecte din lemn, au fost evacuate până în primăvara anului 1992 [22,2, 22,6].

Evacuarea și alte acțiuni de protecție nu au putut preveni leziuni majore ale patrimoniului cultural. Potrivit raportului final al Comitetului de Stat pentru inventarierea și estimarea daunelor de război, aproximativ 40% din patrimoniul imobil – mai ales cel arhitectural – a fost distrus sau deteriorat. Lista obiectelor pierdute, distruse sau deteriorate din 162 de biserici, mănăstiri și alte clădiri sacre afectate de război cuprinde 3098 de picturi, sculpturi și mobilier de biserică [22,7]. Pierderile de la muzee și galerii înregistrate de Centrul de Documentare Muzeal numără 3178 obiecte distruse și 2283 obiecte deteriorate [22.8, 22.9].

Deși o mare parte a patrimoniului cultural evacuat – în majoritatea cazurilor obiecte din lemn – a scăpat de distrugerii directe, el se confruntă cu o altă problemă serioasă provocată de depozitare: biodeteriorarea.

Numărul total de obiecte care necesită atenție amenință să copleșească

efortul conservatorilor și restauratorilor de a atenua problemele de biodegradare masivă în timp util și în mod eficient. Din fericire, țara avea la dispoziție mijloace tehnice și o experiență considerabilă în tratarea unui număr mare de obiecte împotriva contaminanților biologici. Cu ajutorul instalației panoramice de iradiere gamma, operată de Laboratorul de Chimia și Dozimetria Radiațiilor (RCDR), din Institutul Ruđer Bošković (RBI), Zagreb, utilizată încă din 1984 [22.10], a fost posibilă tratarea rapidă a unei mari cantități de obiecte de patrimoniu cultural, biodegradate.

Sub supravegherea Institutului de Conservare din Croația (CCI), mai mult de o treime din obiectele de patrimoniu cultural evacuate din nordul Croației au fost transportate la RBI pentru eradicarea insectelor sau dezinfecție prin iradiere, cu precădere sculpturile policrome, părți ale altarelor și alte piese din lemn [22.11]. În plus față de stoparea biodegradării, iradierea a fost utilizată ca prim pas în procesul de conservare, permițând depozitarea obiectelor fără risc de contaminare încrucișată, înainte de conservarea și restaurarea finală [22.5].

22.2. EXEMPLE DE ACȚIUNI DE CONSERVARE PRIN IRADIERE A UNOR OBIECTE AFECTATE DE RĂZBOI

22.2.1. Exemplul 1: Biserica Sfânta Maria a Zăpezilor din Kamensko lângă Karlovac (sec. 15)

Mănăstirea paulină din Kamensko, lângă Karlovac, a fost distrusă în 1991 [22.12]. Totuși, înainte de distrugerea sa, 29 de sculpturi și picturi au fost îndepărtate de la Biserica Fecioarei Maria a Zăpezilor și plasate în adăposturi temporare. Unele părți au fost ascunse în criptă, dar părțile principale ale celor trei altare au fost lăsate pe loc în interiorul bisericii. Acoperișul bisericii a fost distrus, expunând interiorul la o degradare ulterioară. În timp ce altarul principal a supraviețuit, altarele laterale, în special Altarul Sfintei Cruci din 1685, au fost supuse unor serioase distrugerii și degradări (Fig. 22.1). În 1995, zidurile bisericii și părțile neincendiate ale altarelor erau copleșite de mușcari, în special obiectele ascunse în criptă. În procesul de recuperare, rămășițele altarelor au fost adunate și la început depozitate într-un adăpost temporar amenajat în mănăstire. În 2002, după sortarea rămășițelor, materialul recuperat a suferit lucrări preliminare de conservare într-un atelier improvizat la fața locului.

Toate rămășițele au fost tratate prin iradiere: unele părți au fost iradiate cu 2 kGy pentru eradicarea insectelor, alte părți, infectate, au fost iradiate cu 5 kGy, iar resturile puternic infestate, recuperate din criptă, au fost iradiate cu 20 kGy. Sculpturile de altar evacuate în 1991 au fost scoase din adăposturile lor temporare și iradiate cu 2 kGy pentru eradicarea insectelor înainte de a se alătura restului materialelor. Pe măsură ce s-au găsit elementele ornamentelor, a fost posibilă reconstrucția completă a Altarului Sfintei Cruci, care și-a reluat locul în biserica reparată în 2008 [22.13-22.15].

22.2.2. Exemplul 2: Sculptură policromă din Biserica Ridicarea la Ceruri a Sfintei Marii (distrusă), Gora lângă Petrinja (sec. 12 sau 13)

La începutul războiului, sculpturile din lemn policrom din Biserica Adormirii Maicii Domnului din Gora, lângă Petrinja, din secolele XII sau XIII, au fost ascunse în criptă. Suprastructura bisericii distruse s-a prăbușit în curând, îngropându-le timp de 6 ani. Șapte sculpturi au fost recuperate în 1997 de sub dărâmături într-o stare foarte proastă, acoperite cu murdărie și mucegai (fig.22.2).

În colaborare cu câțiva alți specialiști, restauratorii CCI au început



FIG. 22.1. Stânga și mijloc: resturi din altar, distruse de război și acoperite de microfloră; dreapta: Altarul Sfintei Cruci după conservare și restaurare în 2008 (cu permisiunea CCI).



FIG. 22.2. Stânga: ruinele bisericii Ridicarea la Ceruri a Fecioarei Maria, din Gora; mijloc: înger – sculptură din cadrul bisericii, imediat după excavarea din 1997; dreapta: aceeași sculptură în 2011, după conservarea din 2006 (cu permisiunea CCI).

tratamentul de lungă durată, care a inclus curățire, uscare, stabilizare climatică, tratament chimic parțial și iradieri repetate. În cursul acestui proces au fost identificate mușcăiurile și bacteriile contaminante [22.16]. Imediat după recuperare, părțile puternic contaminate au fost tratate cu o doză de decontaminare de 20 kGy.

În cursul procesului de uscare la CCI, care a fost de lungă durată, infecția a reapărut și sculpturile au fost iradiate din nou cu 5 kGy în 1998. După lucrările inițiale de conservare și restaurare parțială, sculpturile au fost depozitate la CCI din Ludbreg, în stare stabilă, în așteptarea restaurării finale [22.13, 22.16-22.18].

22.2.3. Exemplul 3: Poliptic Fecioara Maria din biserica Sfântul Francisc, Pola (sec. 15)

Polipticul din biserica mănăstirii franciscane din Pola este considerat una dintre cele mai frumoase opere gotice târzii din Croația. S-a sugerat a fi puternic influențat de familia venețiană Vivarini, activă spre sfârșitul secolului al XV-lea. Polipticul au fost dezmembrat și depozitat într-un loc sigur la sfârșitul toamnei anului 1991. Când condițiile au permis reinstalarea în biserică, acest lucru nu a fost considerat posibil din cauza stării sale precare, rezultată din mutări repetate de mai multe ori în



FIG. 22.3. Stânga: poliptic Fecioara Maria, Biserica Sfântul Francisc, Pola; mijloc: sculptura centrală Fecioara Maria cu copilul Isus, după conservare; dreapta: suportul din spatele polipticului (cu permisiunea CCI).

ultimii 200 de ani. Toate părțile polipticului au fost transportate pentru eradicarea insectelor prin iradiere cu 2 kGy la RBI, iar lucrările ulterioare de conservare și restaurare au fost efectuate la CCI din Zagreb. În decembrie 2004, polipticul a fost readus în Biserica Sfântului Francisc (Figura 22.3) [22.13, 22.19].

În concluzie, iradierile s-au dovedit a fi o metodă eficientă și foarte utilă pentru protejarea artefactelor patrimoniului cultural pus în pericol de biodegradarea masivă [22.20].

BIBLIOGRAFIE LA CAPITOLUL 22

- [22.1] DEMONJA, D., Monuments at war, Rad. Instit. povij. umjet. **17** 1 (1993) 135 pp.
- [22.2] LASZLO, Ž., Zaštita i obnova pokretnih spomenika kulture Hrvatske u ratu, Informatica Museologica **23** (1992) 58-61.
- [22.3] MUŠNJAK, T., "Archives in war: Archives in Croatia during the war 1991–1995: Protection and salvage, types of damages and recovery", Prévention 2000: la prévention des sinistres dans les aires de stockage du patrimoine (Proc. Conf. Draguignan/Figanières, 2000), (REBIERE, J., MOUREY, W., Eds), Centre archéologique du Var, Draguignan (2003) 165-172.
- [22.4] MUŠNJAK, T., The protection of archival material in war conditions, Arh. vjesn. **37** (1994) 79-86.

- [22.5] PEDIŠIĆ, A., Wartime evacuation and an overview of protective treatments on the movable furnishings from the parish church of St. Ladislaus in Pokupsko, *Portal* **5** (2014) 193-210.
- [22.6] LASZLO, Ž., Museum Documentation Center, Zagreb, personal communication, 2011.
- [22.7] SARAČEVIĆ-WÜRTH, R., “Cultural heritage: Rescuing”, Proc. Professional Round Table on Sheltering the Population and Material Goods, Zagreb, 2005, State Directorate for Protection and Rescuing and Civil Defense Service, Zagreb (2005) 37-41.
- [22.8] PAVIĆ, V. (Ed.), War Damages to Museums and Galleries in Croatia, Museum Documentation Centre, Zagreb (1997) 178 pp.
- [22.9] MUSEUM DOCUMENTATION CENTRE, War Damages to Museums and Museum Holdings in Croatia, <http://ratne-stete.mdc.hr/en/war-damages/>
- [22.10] RAŽEM, D., Twenty years of radiation sterilization in Croatia, *Radiat. Phys. Chem.* **71** (2004) 597–602.
- [22.11] KATUŠIN-RAŽEM, B., RAŽEM, D., BRAUN, M., Irradiation treatment for the protection and conservation of cultural heritage artefacts in Croatia, *Radiat. Phys. Chem.* **78** (2009) 729–731.
- [22.12] PLUKAVEC, S.R.L.S., Razoreni i teško oštećeni crkveni objekti Zagrebačke nadbiskupije u srpskoj agresiji na Hrvatsku 1991–1995, *Glas Koncila* 2006, <http://www.glas-koncila.hr/docs/1193997190-30-100.pdf>
- [22.13] CROATIAN CONSERVATION INSTITUTE, Archive of the Croatian Conservation Institute, <http://www.h-r-z.hr/en/index.php/strune-slube/arhiv>
- [22.14] CVETKOVIĆ, S., JAGIĆ, R., “The altar of the St. Cross, Kamensko, Church of the Blessed Virgin Mary of Snow”, Poster No. 3, Proc. Sem. Irradiation Methods for the Protection of Cultural Heritage, Zagreb, 2011, Croatian Conservation Institute-Ruđer Bošković Institute, Zagreb (2011).
- [22.15] SUNARA, S.M., Ljetna praksa: Konzervatorski zahvati na oltarima iz Kamenskog, Academy of Fine Arts, University of Split (2002), <http://www.e-insitu.com/hr/praksa/praksa/ljetna-praksa-izvjestaj-o-konzervatorskorestauratorskim-zahvatima-na-oltarima-iz-kamenskog.html>
- [22.16] BRIŠKI, F., KRSTIĆ, D., JAGIĆ, R., Microbial species on a polychrome sculpture from a ruined church: Evaluation of the microbicide PBK against further biodegradation, *Stud. Conserv.* **46** (2001) 14– 22.
- [22.17] PAVLIČIĆ, M., VOKIĆ, D., Skulpture iz kripte Blažene Djevice Marije u Gori: Dezinfekcija i konzerviranje, *Vijesti muzealaca i konzervatora* **1–2** (2000) 21–31.
- [22.18] BRAUN, M., KRSTULOVIĆ, N., LALIĆ, L., “Overview of the current state of wooden polychromed sculptures from Gora”, Poster No. 2, Proc. Sem. Irradiation Methods for the Protection of Cultural Heritage, Zagreb, 2011, Croatian Conservation Institute-Ruđer Bošković Institute, Zagreb (2011).

- [22.19] JAGIĆ, R., “Polyptich of the Virgin Mary from the church of St. Francis in Pula”, Poster No. 5, Proc. Sem. Irradiation Methods for the Protection of Cultural Heritage, Zagreb, 2011, Croatian Conservation Institute-Ruđer Bošković Institute (2011).
- [22.20] KATUŠIN-RAŽEM, B., MIHALJEVIĆ, B., BRAUN, M., “Irradiation method in the protection of heritage objects endangered by massive biodeterioration”, Int. Scientific Conf. Protection of Cultural Heritage from Natural and Man-made Disasters, Zagreb/Šibenik, 2014, National and University Library in Zagreb (2014).

Capitolul 23

STADIUL ACTUAL AL APLICĂRII IRADIERII TEHNOLOGICE A PATRIMONIULUI CULTURAL ÎN BRAZILIA

P. VASQUEZ

Nuclear and Energy Research Institute – IPEN/CNEN,

São Paulo, Brazil

Email: pavsalva@usp.br

23.1. INTRODUCERE

Clima Braziliei cuprinde o gamă largă de condiții meteorologice pe o suprafață mare și cu topografie variată, dar în cea mai mare parte a țării clima este tropicală. Nivelurile ridicate de temperatură și umiditate favorizează creșterea mușgaiului și a altor ciuperci în operele de artă și în cărți. O altă mare problemă cu care se confruntă conservarea patrimoniului cultural este prezența insectelor xilofage, în special termite și carii. Pentru eradicarea insectelor și dezinfectarea în masă a numeroaselor materiale de patrimoniu cultural din hârtie, lemn, piele, textile et al, a fost folosită Instalația de Iradiere Gama cu Scopuri Multiple din cadrul Institutului de Cercetări Nucleare și Energetice (IPEN), Comisia Națională pentru Energie Nucleară (CNEN), São Paulo. Aceste activități au avut un impact social semnificativ, iar muzeele, bibliotecile, colecționarii, conservatorii și alții au beneficiat din plin de această aplicație a iradierii tehnologice. Câteva dintre aceste activități sunt descrise mai jos.

23.2. ARHIVA PUBLICĂ A STATULUI SĂO PAULO: INUNDAȚIA DE LA SĂO LUIZ DE PARAITINGA

În 2010, São Luiz de Paraitinga, un oraș în stil colonial, apreciat de turiști, a fost grav afectat de condiții meteorologice nefavorabile, când un râu din apropiere a ieșit din matcă. Arhivele, conținând date importante privind clădirile publice, precum și înregistrări de identitate, evidențe de pensionare, contracte și alte înscrisuri, au fost distruse sau grav avariate. Arhiva Publică a statului São Paulo a stabilit un parteneriat cu Serviciul

Național de Formare Industrială pentru a recupera arhivele deteriorate. O parte din documentele afectate a fost tratată prin metode tradiționale de recuperare, cum ar fi uscarea, intercalarea între foi a unor suprafețe absorbante intermediare și curățarea. Un număr considerabil de documente au fost infectate de ciuperci, în principal din cauza depozitării necorespunzătoare și a uscării incomplete. Pentru că metodele tradiționale de dezinfecție au eșuat, chiar și după uscare, materialul a fost tratat prin iradiere, la instalația de iradiere gamma a IPEN, cu o doză medie de 8-10 kGy (Figura 23.1).

23.3. CONTROLUL INSECTELOR ȘI A FUNGILOR LA O COLECȚIE PRIVATĂ DE INCUNABULE

Se numesc incunabule cărțile tipărite în Europa înainte de anul 1501. Proprietarul unei colecții private de incunabule dedicate vinului și viticulturii, avea o colecție de aproximativ 5000 de cărți vechi care au fost atacate de mai mulți biodeteriogeni, inclusiv mușegai și alte ciuperci. Pentru salvarea colecției, Serviciul Național de Formare Industrială s-a adresat institutului IPEN. În urma unor teste de control, ciupercile s-au dovedit foarte rezistente la tratamentele clasice. Colecția a fost iradiată la iradiatorul gamma a IPEN cu 2 kGy pentru insecte și cu 10 kGy pentru ciuperci (Figura 23.2). Curățarea și serviciile aferente suplimentare au fost efectuate de o companie comercială de restaurare a cărților.



FIG. 23.1. Arhiva publică a statului São Paulo: inundație, distrugere și conservare la São Luiz de Paraitinga.

23.4. ARHIVELE SECRETARIATULUI PENTRU EDUCAȚIE A STATULUI SĂO PAULO: HÂRTIE CONTAMINATĂ CU APĂ DE CANALIZARE

În 2011, arhivele Secretariatului pentru Educație a Statul São Paulo, conținând informații semnificative, au fost contaminate cu apă de canalizare. Inundarea a fost o consecință a spargerii țevilor. Documentele deteriorate au fost uscate și plasate temporar într-un spațiu de stocare pentru a evita problemele suplimentare. Compania de Salubritate a statului São Paulo, responsabilă pentru rezolvarea situației, a propus diferite abordări pentru dezinfecție, inclusiv iradierea gamma. Materialul a fost ambalat în cutii de plastic (Figura 23.3). Tratamentul a fost efectuat la instalația gamma a IPEN. Doza medie de procesare a fost de aproximativ 15 kGy. Documentele recuperate vor fi digitalizate și apoi stocate în condiții adecvate.



FIG. 23.2. Colecție privată de incunabile: dezinfecție și eradicarea insectelor.



FIG. 23.3. Arhivele Secretariatului pentru Educație a Statului São Paulo: hârtie contaminată cu apă de calizare, înainte și după dezinfecția prin iradiere.



FIG. 23.4. Pictură peruviană din sec. XVII decontaminată prin iradiere la IPEN.

23.5. IRADIEREA GAMMA A UNEI PICTURI DIN SECOL XVII RESTAURATE.

Este important să se studieze compoziția materialelor iradiate și comportamentul oricărei lucrări de artă care va fi tratată prin iradiere gamma înainte de începerea tratamentului. După tratament, trebuie să se utilizeze proceduri complementare pentru prevenirea recontaminării întrucât iradierea nu este o metoda preventivă. Avem ca exemplu o pictura peruviana din secolul al XVII-lea (Fig. 23.4), care după restaurare s-a recontaminat cu mucegai, a fost dezinfectată prin iradiere gamma, iar apoi plasată într-o cutie presupusă a fi sigilată ermetic, din material plastic acrilic. După șase ani a apărut din nou o creștere a microorganismelor [23.1]. Un nou tratament a fost efectuat folosind același procedeu, dar de data aceasta, s-a asigurat în cutie o atmosferă anoxică pentru a preveni recontaminarea. Analizele privind stabilitatea la iradiere a materialelor picturale, efectuate înainte de prima iradiere, au făcut posibilă o a doua iradiere, permițând creșterea dozei aplicate totale, fără ca aceste materiale să sufere modificări.

BIBLIOGRAFIE LA CAPITOLUL 23

- [23.1] RIZZO, M.M., et al., Effects of gamma rays on a restored painting from the XVIIth century, *Radiat. Phys. Chem.* **63** (2002) 259–262.

Capitolul 24

STADIUL ACTUAL AL APLICĂRII IRADIERII TEHNOLOGICE A PATRIMONIULUI CULTURAL ÎN TUNISIA

M. KRAÏEM

Centre National des Sciences et Technologies Nucléaires,
Sidi Thabet, Tunisia

Email: mokhtar.kraiem@cnstn.rnrt.tn

24.1. INTRODUCERE

Din 2005, Centrul Național Tunisian pentru Știință și Tehnologie Nucleară (CNSTN) utilizează tehnologii cu radiații gamma pentru a conserva obiectele de patrimoniu cultural din diferite muzee naționale. Cu o echipă multidisciplinară, incluzând fizicieni, biologi și chimiști, eforturile s-au concentrat pe:

- Efectuarea de cercetări în vederea studierii materialelor și a dezvoltării celor mai bune practici adaptate la tratamentul prin iradiere a obiectelor și a colecțiilor: determinarea dozei de iradiere, a debitului dozei, a raportului de omogenitate, precum și maparea dozimetrică a camerei de iradiere;
- Efectuarea tratamentelor necesare pentru eradicarea insectelor și dezinfectarea tapiseriilor, precum și a altor obiecte din materiale organice, cum ar fi lemnul sau pielea;
- Informarea profesioniștilor și a publicului larg cu privire la noile tehnici dezvoltate pentru conservarea patrimoniului cultural.

24.2. INSTAȚIA PILOT DE IRADIERE GAMMA A CNSTN

Instalația de iradiere gamma de la CNSTN are următoarele caracteristici:

- Tipul de iradiator: pilot;
- Anul de punere în funcțiune: 1999;
- Locul de amplasare: CNSTN, Tunis;
- Sursa de radiație: ^{60}Co ;

- Radioactivitate maximă instalată: $3,7 \times 10^{15}$ Bq;
- Depozitarea sursei: uscată;
- Sistem de manipulare a produselor:
 - Poziția 1: sistem automat, cu paleți – 5 suporturi ($\sim 7,5$ m³) per lot;
 - Poziția 2: pentru eșantioane.

Instalația (Figura 24.1) este folosită în principal pentru activități de cercetare-dezvoltare și pentru furnizarea de servicii întreprinderilor în domeniul iradierii produselor alimentare (în conformitate cu legislația națională relevantă), sterilizarea dispozitivelor medicale (în conformitate cu legislația națională relevantă și ISO 11137), conservarea obiectelor de artă și iradierea tehnologică a materialelor.

24.3. PROCESUL DE IRADIERE

Primul pas este determinarea dozei de iradiere necesară pentru eradicarea insectelor fără a provoca modificări, cum ar fi schimbarea culorii substanțelor, inclusiv a lacurilor, a sticlei și a ceramicii, a țesăturilor și a lemnului. În general, sterilizarea și dezinfectarea cu scopul de a elimina ciupercile și alte microorganisme necesită doze mai semnificative.

În timp ce, de exemplu, 0,5 kGy este o doză suficientă pentru a elimina insectele xilofage (doza minimă), pentru distrugerea anumitor

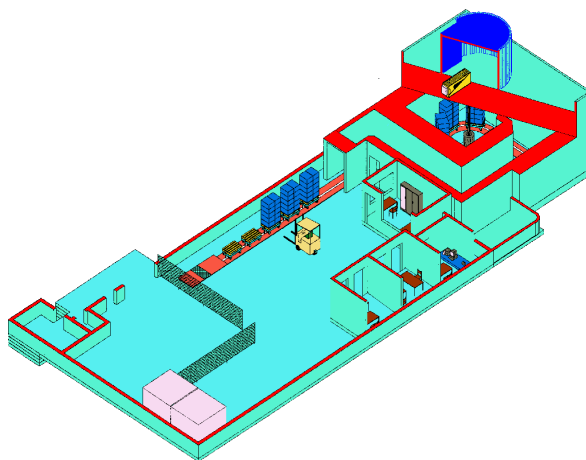


FIG. 24.1. Schița instalației pilot de iradiere gamma a CNSTN

ciuperci este necesară o doză de 2 kGy, în timp ce pentru distrugerea tuturor mucegaiuri este necesară o doză de 10 kGy sau mai mult.

Produsele sunt apoi trimise în camera de iradiere și se efectuează un studiu cartografic pentru a determina distribuția dozei în produs (doza maximă și minimă și raportul de omogenitate). Iradierea produselor se realizează în conformitate cu cartografierea, pe categorii (în funcție de natura și geometria produsului) și continuu (pentru a evita efectele radiorezistenței insectelor sau microorganismelor).

24.4. ARTEFACTE DE PATRIMONIUL CULTURAL TRATATE LA CNSTN

CNSTN a semnat o convenție cu Institutul Patrimoniului Național pentru conservarea obiectelor de artă. Următoarele secțiuni prezintă activitățile CNSTN de tratare a unor categorii de obiecte din diferitele muzee naționale.

24.4.1. Fotolii din metal acoperite cu piele și textile

Muzeul Habib Bourguiba din Monastir (2012): tratarea fotoliilor din metal acoperite cu piele și textile la 2 kGy pentru eradicarea insectelor (Figura 24.2).

24.4.2. Tapițerii, haine oficiale ale beiiului, instrument muzical de lemn

Muzeul Național Bardo (2008): eradicarea insectelor în tapițerii, dezinfecția hainelor oficiale ale beiiului și tratarea unui instrument muzical de lemn. Doza de iradiere aplicată a fost de 2 kGy pentru a elimina atât insectele xilofage cât și ciupercile (Figura 24.3).

24.4.3. Piese de taxidermie

Muzeul Prezidențial din Cartagina (2009): eradicarea insectelor și dezinfecția unor animale împăiate pentru eliminarea insectelor cheratofage (insecte capabile să degradeze cheratina din păr și din cuticula animală) (Fig. 24.4).



FIG. 24.2. Stânga: fotolii din metal acoperite cu piele și textile împachetate; dreapta: produse pregătite pentru tratament, în instalația de iradiere (rafturile de sus).



FIG. 24.3. Stânga: hainele de ceremonie ale beiului; centru: instrument musical din lemn; dreapta: produse pregătite pentru tratament, în instalația de iradiere.

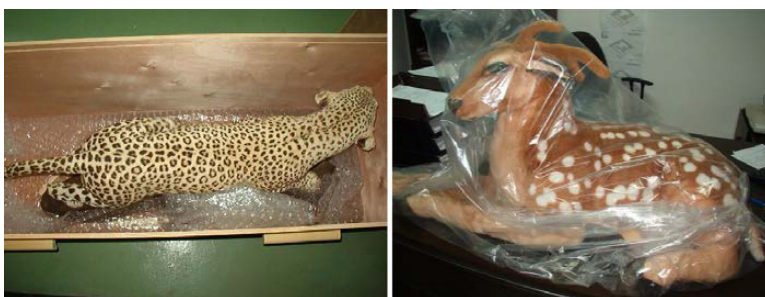


FIG. 24.4. Animale împăiate de la Muzeul Prezidențial din Cartagina, tratate prin iradiere.

Capitolul 25

STADIUL ACTUAL AL APLICĂRII IRADIERII TEHNOLOGICE A PATRIMONIULUI CULTURAL ÎN CROAȚIA

B. KATUŠIN-RAŽEM*, M. BRAUN**, D. RAŽEM*,
B. MIHALJEVIĆ*, I. PUCIĆ*

* Ruđer Bošković Institute

Email: brazem@irb.hr

** Croatian Conservation Institute

Zagreb, Croatia

25.1. INTRODUCERE

Singura instalație de iradiere din Croația capabilă să furnizeze servicii de iradiere părților interesate, inclusiv conservatori și restauratori, este unitatea panoramică de iradiere gamma ^{60}Co de la Laboratorul de Chimia și Dozimetria Radiațiilor (RCDL) al Institutului Ruđer Bošković (RBI) din Zagreb. RBI a fost înființat în 1950 ca Institut de Fizică Atomică. Domeniul său de activitate a fost extins în scurt timp pentru a include chimia și biologia, consolidând astfel caracterul său multidisciplinar, pe care îl păstrează de atunci. Astăzi, RBI este cel mai important institut științific din Croația. Are peste 550 de oameni de știință și cercetători în peste 80 de laboratoare care desfășoară activități de cercetare într-o varietate de domenii legate de fizica teoretică și experimentală, știința materialelor, electronică, chimie fizică, chimie organică și biochimie, biologie moleculară și medicină, cercetare marină și de mediu, științe informatice, calculatoare și lasere [25.1]. RCDL a fost înființat în 1958 și a rămas până în prezent singurul laborator din țară care desfășoară atât cercetări științifice de bază, cât și aplicații științifice în domeniile chimiei și dozimetriei radiațiilor și a iradierilor tehnologice [25.2].

Iradiatorul panoramic gamma al RCDL a fost construit în 1963. Deși la început a fost doar o instalație experimentală, a fost proiectat să poată deveni o instalație de iradiere multifuncțională la scară pilot, cu o capacitate mai mare de $3,7 \times 10^{15}$ Bq de ^{60}Co . Echipamentul a fost modernizat în 1983, devenind o instalație de iradiere la scară pilot, încărcată

cu $1,85 \times 10^{15}$ Bq de ^{60}Co . Aplicarea tratamentului de iradiere pentru conservarea patrimoniului cultural a devenit posibilă numai după acumularea de experiență în iradieri tehnologice la scară mai mare. Efectuarea iradierilor la scară comercială pentru sterilizarea, pasteurizarea, decontaminarea și dezinfectarea diferitelor materiale – consumabile medicale, produse farmaceutice, cosmetice, articole de toaletă și alimente – au oferit înțelegerea necesară a aspectelor practice ale proceselor de iradiere și a metodelor de control dozimetric [25.3, 25.4]. Odată cu creșterea experienței operatorilor în ceea ce privește radiosensibilitatea diferiților contaminanți biologici, a efectelor secundare ale iradierii asupra materialelor și a dozimetriei [25.5], a crescut competența acestora, permițându-le să facă față dificultăților ce apar la conservarea artefactelor de patrimoniu cultural. Într-adevăr, în ultimii 25 de ani, aplicarea iradierii pentru protecția și conservarea obiectelor de patrimoniu cultural a fost realizată cu succes în Croația [25,6, 25,7].

25.2. INSTALAȚIA DE IRADIERE DE LA INSTITUTUL RUĐER BOŠKOVIĆ

Echipamentul de iradiere este un iradiator de tip panoramic cu depozitare în container. Sursa de radiații constă din 90 de creioane de ^{60}Co dispuse în 24 de tije, astfel încât 18 tije conțin 4 creioane fiecare și 6 tije conțin câte 3 creioane fiecare. Tijele sunt plasate pe înfășurătoarea unui cilindru, cu un diametru de 32 cm și o înălțime de 32 cm (Figura 25.1). Tijele sunt suspendate pe cabluri, fiecare în interiorul propriului tub de ghidare, în interiorul căruia poate fi deplasată între poziția de siguranță și cea de operare. Poziția de siguranță se află în interiorul unui container de plumb aflat în partea inferioară a unui puț de depozitare săpat în podeaua camerei de iradiere. Pentru a ajunge în poziția de operare, sursele de radiație sunt ridicate deasupra podelei camerei de iradiere, dar fiecare tijă sursă rămâne în interiorul tubului său de ghidare din motive de siguranță. Camera de iradiere este o sală dreptunghiulară, de $4,9 \text{ m} \times 3,9 \text{ m} \times 3,5 \text{ m}$, în care există loc pentru $4\text{-}6 \text{ m}^3$ de materiale. Când sursele de iradiere se află în poziție de operare, centrul cilindrului cu surse este la $0,7 \text{ m}$ deasupra podelei camerei de iradiere. Topografia câmpului de radiație din cameră a fost măsurată utilizând sistemul dozimetric cu etanolclorbenzen (ECB) [25,8].

Deoarece sursa de iradiere are forma unui cilindru, câmpul de iradiere din jurul acestuia are o simetrie cilindrică. Debitul dozei de iradiere, în toate punctele aflate la o anumită înălțime, depinde numai de distanța în plan orizontal de la axa sursei; adică, în toate planurile orizontale, curbele de izodoză au forma unor cercuri. În planurile verticale, la orice distanță de axa sursei, debitul dozei variază în funcție de înălțimea de la podeaua camerei, atingând un maxim la înălțimea centrului cilindrului cu surse, adică la 0,7 m deasupra podelei. Cu cât planul vertical este mai aproape de axa sursei, cu atât este mai pronunțat acest maxim. În planul orizontal la 0,7 m deasupra podelei, debitul dozei scade invers cu $r^{1,96}$. Dacă toată radioactivitatea ar fi concentrată în centrul cilindrului cu surse, debitul dozei s-ar diminua invers proporțional cu pătratul distanței (adică cu r^2).

Aceste detalii ale câmpului de iradiere sunt luate în considerare la planificarea iradierii obiectelor mai mari, cum ar fi anumite obiecte de patrimoniu cultural, pentru a asigura o distribuție cât mai uniformă a dozei în întregul volum iradiat. Obiectele sunt în general poziționate astfel încât cele mai mari să fie plasate departe de axa sursei, unde curbura curbelor de izodoză este mai mică. Obiectele mai mici pot fi plasate mai aproape



FIG. 25.1. Instalația de iradiere de la RBI (cu permisiunea arhivei RCDL, RBI).

și când sunt ambalate în cutii, pot fi plasate unul peste altul, astfel încât înălțimea totală să nu depășească 1,4 m. La jumătatea timpului de iradiere prescris, obiectele trebuie rotite cu 180° în jurul axei verticale, iar cele aflate la peste 0,7 m trebuie înlocuite cu cele aflate sub această cotă. Obiectele mai mari, cum ar fi sculpturile, pot fi doar rotite cu 180° . În acest caz, părțile care sunt la 0,7 m primesc cea mai mare doză, iar părțile din partea inferioară și din partea superioară primesc cea mai mică doză. Trebuie avut grijă ca doza minimă să fie suficientă pentru a obține efectul biocid dorit. Doza nominală pentru dezinfestarea insectelor la această instalație este stabilită la 2 kGy, deși 0,5 kGy ar fi suficientă, dacă această doză a fost distribuită în mod omogen.

25.3. ACCEPTANȚA TRATAMENTULUI PRIN IRADIERE

Obiectele de patrimoniu cultural infestate au putut fi tratate prin iradiere pentru prima dată, după 1983, când iradiatorul gamma a fost modernizat. La început, principalul serviciu solicitat a fost eradicarea ocazională a insectelor din mobilierul vechi. Solicitarea tratamentului cu radiații a obiectelor de patrimoniu importante, a crescut considerabil în timpul războiului din Croația (1991-1995), când un număr din ce în ce mai mare de obiecte de patrimoniu cultural afectate direct sau indirect în război au fost aduse la RCDL. Iradierea a fost un pas semnificativ spre conservare, în special a sculpturilor din lemn policrom. Tratamentul lor cu radiații gama în instalația de iradiere RCDL a jucat un rol semnificativ în prevenirea biodeteriorării masive. Sub supravegherea Institutului de Conservare din Croația (CCI), sute de obiecte, în cea mai mare parte sculpturi din lemn policrom, părți ale altarelor și alte artefacte din lemn, cuprinzând aproximativ 1500 de altare complete, au fost transportate la RBI pentru eradicarea insectelor sau pentru dezinfecție, dacă era necesar. A fost oprită astfel biodegradarea, iar obiectele au putut fi adăpostite în depozite sigure până la restaurare [25.9]. Această contribuție la conservarea obiectelor de patrimoniu cultural a fost recunoscută la nivel internațional [25.10]. Activitatea din timpul războiului și recunoașterea internațională au contribuit la promovarea tratamentului prin iradiere în rândul conservatorilor naționali și a condus la acceptarea treptată a acestuia în Croația.

Dozele aplicate pentru tratamentele de iradiere la RCDL au fost cele acceptate în literatura de specialitate: 0,5 până la 2,0 kGy pentru controlul

insectelor, 5 până la 10 kGy pentru controlul ciupercilor și 5 până la 20 kGy pentru controlul bacteriilor.

Se estimează că, în ultimii 25 de ani, mai mult de 8000 de sculpturi din lemn, părți ale altarelor, piese de mobilier, unelte, instrumente muzicale și alte obiecte din lemn, hârtie, paie, textile și piele, au fost tratate în colaborare cu CCI și alte părțile interesate. Aproape 95% din toate obiectele tratate au avut nevoie de eradicarea insectelor. Cel mai adesea, au fost tratate obiecte de patrimoniu cultural disperate, dar iradierea s-a dovedit o metodă deosebit de potrivită în cazul unui altar demontat, a unui iconostas complet sau a unei întregi colecții muzeale ce trebuia tratată simultan pentru evitarea contaminării încrucișate. În prezent, sunt tratate anual la sediul RBI, aproximativ 20 m³ de obiecte de patrimoniu, mai ales din lemn.

25.4. EDUCAȚIE ȘI DISEMINAREA CUNOȘTIINȚELOR

Acceptarea dezinfecției prin iradiere și aplicarea sa corectă depind de înțelegerea de către conservatori/restauratori a avantajelor și limitărilor sale. Nevoia de a disemina astfel de cunoștințe și de a furniza sistematic informații elementare privind metoda de iradiere potențialilor utilizatori, a determinat RCDL să participe activ la educația conservatorilor/restauratorilor la toate nivelurile.

Timp de zece ani studenții secției de tâmplărie de la școala tehnică pentru tehnologia lemnului din Zagreb au efectuat vizite anuale la instalația de iradiere, primind informații despre conservarea prin iradiere a mobilei vechi. În noiembrie 2012, a fost organizat la RBI un seminar național pentru profesorii lor de Centrul de Educație Profesională Continuă.

Academiile de Arte Plastice ale celor trei universități croate din Zagreb, Split și Dubrovnik, oferă studii postuniversitare în domeniul conservării/restaurării. Prelegerile privind aplicarea tehnicilor nucleare, inclusiv iradierea, sunt adesea însoțite de o demonstrație la instalația de iradiere. Ca o parte practică a studiului și în pregătirea lucrărilor de absolvire (teze) care necesită o experiență directă în restaurare, artefactele de patrimoniu sunt adesea iradiate, ca un prim pas în procesul complex de conservare și restaurare [25.11]. Oamenii de știință ai RCDL sunt co-mentori pentru teze de absolvire a studenților cu un interes special în iradiere.

Totuși, activitățile de diseminare a cunoștințelor au ca țintă principală conservatorii și restauratorii aflați în activitate. La seminariile și conferințele CCI din Zagreb au fost susținute mai multe prelegeri privind tratamentul prin iradiere a obiectelor de patrimoniu cultural: Distrugerea Monumentelor Culturale prin Degradare Microbiologică, în anul 2000 [25.12]; Proceduri Importante pentru Conservarea și Îmbunătățirea Condiției Artefactelor Textile, în anul 2008 [25.13]; Etica Abordării Operele de Artă Realizate din Material Textil în 2013 [25.14-25.17].

RBI și CCI au organizat în comun, în octombrie 2011, la Zagreb și Zadar, un seminar național dedicat tratamentelor prin iradiere pentru conservatori și alți specialiști în domenii înrudite, intitulat Metode de Iradiere în Protecția Patrimoniului Cultural [25.18]. Seminarul a reunit 150 de participanți, ceea ce a confirmat actualitatea demersului și oportunitățile oferite pentru a afla și a discuta despre perspectivele metodelor bazate pe iradiere. Mai mulți experți din cadrul RBI au vorbit despre aspecte legate de chimia radiațiilor și radiobiologie și și-au împărtășit experiența în eradicarea insectelor și dezinfecție. Q.K. Tran de la Laboratorul ARC-Nucléart din Franța, expert desemnat de AIEA, a furnizat informații suplimentare privind aplicarea radiațiilor pentru consolidare. Impactul seminarului a fost întărit de o expoziție de postere, unde au fost prezentate exemple de succes ale aplicării iradierii în Croația.

Membrii RCDL au susținut prelegeri privind metodele de iradiere la conferința științifică internațională privind Protecția Patrimoniului Cultural în Cazul Dezastrelor Naturale și Provocate de Om, organizată de către Biblioteca Națională și Universitară din Zagreb, la Zagreb și Šibenik, în mai 2014 [25.9 , 25,19].

Pe lângă serviciile de iradiere, RCDL oferă la cerere, consultanță părților interesate.

25.5. VIZIBILITATEA TRATAMENTULUI PRIN IRADIERE ÎN PUBLICAȚII

Conform Cartei de la Veneția, toate tratamentele, la care a fost supus un obiect de patrimoniu cultural în procesul de conservare/restaurare, inclusiv iradierea, trebuie înregistrate într-o bază de date și păstrate pentru a fi luate în considerare ulterior. În consecință, iradierea tuturor artefactelor în cadrul cooperării dintre RBI și CCI este înregistrată în baza

de date CCI numită BREUH [Artefacte croate supuse restaurării] [25.20].

Există două periodice principale pentru conservatorii/restauratorii din Croația: Conservarea Patrimoniului Cultural în Croația (revistă a Ministerului Culturii) și Portal (publicație anuală a CCI). Ambele publică și rapoarte despre lucrările de conservare/restaurare care implică iradierea.

În zona accesului liber la informație, site-urile web ale institutelor, academiilor, muzeelor, arhivelor și bibliotecilor, oferă informații ușor de găsit privind activitățile instituțiilor respective. Printre acestea sunt și lucrări relevante dedicate conservării și restaurării materialelor de patrimoniu cultural, care adesea implică utilizarea iradierii.

Site-ul CCI, în secțiunea care prezintă activitățile sale în domeniul conservării, oferă unele descrieri amănunțite privind lucrările de conservare/restaurare, inclusiv tratamentele cu radiații [25.21]. Un exemplu este polipticul lui Girolamo da Santa Croce din Vis (Fig. 25.2) [25.22].

Site-ul web al International Conference of Conservation and Restoration Studies, conferință internațională studentească de restaurare, include prelegeri și postere, rezultate din tezelor studenților și ale muncii în ateliere.

Utilizarea iradierii este privită din ce în ce mai mult ca una dintre metodele de conservare importante [25.23]. Vizibilitatea aplicării cu succes a iradierii a fost îmbunătățită prin recunoașterea corespunzătoare a acestui fapt la o serie de expoziții de obiecte de patrimoniu cultural restaurat.



FIG. 25.2. Panou din polipticul pictat de Girolamo da Santa Croce din Vis, după conservare (cu permisiunea arhivei Croatian Conservation Institute).

25.6. COOPERARE NAȚIONALĂ ȘI INTERNAȚIONALĂ

Cooperarea dintre RBI, CCI și Departamentul de Restaurare al Academiei de Arte Plastice a Universității din Zagreb a fost esențială pentru aplicarea cu succes a tratamentului de iradiere asupra obiectelor de patrimoniu cultural. Cooperarea durabilă dintre CCI și mai multe laboratoare ale RBI, a căpătat un cadru formal în 2006, printr-un memorandum de înțelegere între Ministerul Științelor și Ministerul Culturii.

Cooperarea dintre RCDL și Arhivele de Stat ale Croației a implicat mai ales iradierea cărților și a copertelor (de lemn) a unor cărți vechi pentru eradicarea insectelor [25.18]. În 2010, cele două instituții și-au conjugat eforturile pentru a conserva Cartea Statutelor orașului Dubrovnik din 1272. Codexul, o transcriere din secolul al XV-lea pe pergament, cu coperti din lemn, era grav afectat de insecte și cu distrugerii mecanice. În procesul de conservare, copertile cărții au fost tratate prin iradiere cu o doză de dezinfectie de 5 kGy. Înțelegerea mutuală de extindere a cooperării privind dezinfectia și eradicarea insectelor prin iradiere la documente istorice, a condus la încheierea unui acord formal de colaborare între RBI și Arhiva de Stat a Croației, în 2013.

Au fost stabilite o bună cooperare și relații de încredere cu instituțiile religioase ale principalelor confesiuni, arhidieceza catolică din Zagreb, biserica ortodoxă sârbă și comunitatea evreiască din Zagreb.

RBI, CCI și Academia de Arte Plastice din Zagreb au fost implicate împreună în cooperări internaționale prin proiectele-regionale ale AIEA RER 1006 (2005-2008): Tehnici nucleare pentru protecția artefactelor patrimoniului cultural în regiunea mediteraneeană; RER 8015 (2009-2011): Utilizarea tehnicilor nucleare pentru caracterizarea și conservarea artefactelor patrimoniului cultural în regiunea europeană; și RER 0034 (2011-2014): Îmbunătățirea caracterizării, conservării și protecției artefactelor patrimoniului cultural. Toate instituțiile participante au fost active în activitățile proiectelor respective, așa cum reiese din rapoartele de activitate [25.24, 25.25].

În cadrul Acordului de cooperare științifică și tehnică între Academia Croată de Științe și Artă și Academia Maghiară de Științe pe tema Tehnici Nucleare pentru Caracterizarea și Conservarea Artefactelor Patrimoniului Cultural, a avut loc în perioada 2010-2011, o cooperare între RCDL Croația și Institutul de Izotopi al Academiei de Științe din Ungaria.

Începând cu anul 2011, o cooperare bilaterală între Croația și Slovenia a reunit RCDL – Zagreb și Centrul de Restaurare al Institutului pentru Protecția Patrimoniului Cultural al Sloveniei – Ljubljana. Obiectul cooperării, Metode de Iradiere pentru Conservarea Textilelor din Muzeul de Istorie, era o parte din proiectul național sloven – Investigații Microbiologice și Structurale ale Materialelor Textile Bio-deteriorate din Muzeele Slovene.

Un alt proiect de cooperare bilaterală axat pe transferul de cunoștințe a fost stabilit cu Institutul Central de Conservare din Belgrad, Serbia. În contextul acestei cooperări este planificată iradierea unor obiecte de patrimoniu cultural.

25.7. CERCETĂRI LEGATE DE IRADIEREA PATRIMONIULUI CULTURAL

În aproape 95% din cazuri, obiectele de patrimoniu cultural din lemn au fost tratate pentru eradicarea insectelor, utilizând o doză de 2 kGy. Într-un domeniu oarecum înrudit cu iradierea patrimoniului cultural, un proiect de cooperare cu Facultatea de Silvicultură din cadrul Universității din Zagreb a vizat evaluarea unui standard pentru determinarea eficacității unor conservanți chimici utilizați la lemn împotriva microorganismelor xilofage. În conformitate cu standardul european EN 113: 1996 (Conservanți ai lemnului – Metodă de încercare pentru determinarea eficacității de protecție împotriva bazidiomicetelor – Determinarea valorilor toxice), testele de toxicitate s-au efectuat pe substrat de creștere alcătuit din eșantioane de lemn sterilizate prin iradiere cu doze de la 25 kGy până la 50 kGy. Deși adesea conservatorii manifestă temeri pentru integritatea obiectelor de patrimoniu cultural din lemn, iradiate cu numai 2 kGy, s-a arătat că dozele de sterilizare de 10 până la 20 de ori mai mari decât doza de eradicare a insectelor nu interferează cu substratul; numai la doze mult mai mari, aproximativ 90 kGy, substratul lemnos devine deteriorat în mod detectabil și astfel devine digerabil pentru microorganismele de testare [25.26].

Datorită dimensiunilor în general mai mici ale artefactelor textile, controlul insectelor din acestea poate fi realizat efectiv cu 1 kGy în loc de o doză nominală de 2 kGy și la un raport mai favorabil de D_{\max} la D_{\min} . Exemple de succes:

- Textile liturgice din mănăstirea franciscană din Slavonski Brod din secolele XIX și XX [25.15, 25.27];
- Textile bisericesti istorice care nu se mai folosesc, dar sunt depozitate într-un depozit special pentru întreținerea preventivă (colecția textilă a CCI, Ludbreg) [25.15, 25.17];
- Ornamente ale tilterelor din Sinj, parte a colecției de costume, accesorii și arme ale concursurilor ecvestre cavaleriești anuale Alka, care au avut loc timp de 300 de ani [25.15, 25.28].

Aplicarea dozelor mai mari pentru combaterea fungilor pe fibrele textile trebuie justificată, pentru a evita modificări nedorite. Unele rezultate ale experimentelor efectuate la iradiatorul RBI în contextul cooperării croato-slovene, sunt incluse în documentul ref. [25,29].

Cercetările în curs de desfășurare la RCDL privind proprietățile termice ale materialelor textile utilizând calorimetria de scanare diferențială și analiza termogravimetrică arată că iradierea în sine și stocarea ulterioară iradierii induc modificări ale proprietăților fibrelor care sunt comparabile sau mai mici decât cele rezultate din îmbătrânirea artificială însăși urmată de iradiere [25.16, 25.30].

Un alt proiect de cercetare în curs de desfășurare se ocupă de efectele radiațiilor asupra unor materiale ornamentale care însoțesc obiectele de patrimoniu cultural (de exemplu, sedef) și anumiți pigmenți pentru a stabili răspunsul lor la iradiere [25.23].

25.8. EXEMPLU DE ERADICARE A INSECTELOR LA SCARĂ MARE: COLECȚIA KOŽARIĆ A MUZEULUI DE ARTĂ CONTEMPORANĂ

În 2007, orașul Zagreb a achiziționat întregul inventar al atelierului aparținând unuia dintre cei mai importanți artiști croați contemporani, sculptorul I. Kožarić (născut în 1921) și l-a încredințat Muzeului de Artă Contemporană pentru management și întreținere și o viitoare expoziție permanentă. Studioul Kožarić conține mai mult de 6000 de piese, produse în peste 50 de ani de activitate a artistului: sculpturi, reliefuri, asamblaje, instalații, obiecte, tablouri, tipărituri, desene, schițe, machete și multe obiecte de zi cu zi (Figura 25.3).

În timp ce se aflau încă în locația lor inițială, precum și în timpul

relocării, transportului și manipulării, obiectele nu erau păstrate în condiții adecvate și nu puteau fi protejate împotriva contaminării biologice. În consecință, întreaga colecție a trebuit să fie verificată și tratată înainte de a fi mutată în noua clădire a muzeului. Majoritatea obiectelor de origine organică au fost tratate cu o doză de eradicare a insectelor de 2 kGy la instalația de iradiere RBI pentru scopuri preventive și curative [25.31].



FIG. 25.3. Stânga: o parte din inventarul Studioului Kožarić; dreapta: mapa cu gravuri a colecției Kožarić

MULȚUMIRI LA CAPITOLUL 25

Personalul RCDL dorește să mulțumească public pentru susținerea continuă a tuturor eforturilor sale de către AIEA sub forma acordării unor burse, asistența prin experți, cooperare tehnică și prin proiecte de cooperare regională [25.32].

BIBLIOGRAFIE LA CAPITOLUL 25

- [25.1] RUĐER BOŠKOVIĆ INSTITUTE, About the RBI (2013), <http://www.irb.hr/eng/About-the-RBI>
- [25.2] RAŽEM, D., How was Radiation Chemistry and Dosimetry Laboratory answering to the challenges of its time, *Polimeri* **29** (2009) 213–216.
- [25.3] RAŽEM, D., Radiation processing in the former Yugoslavia, 1947–1966: From “Big Science” to nullity, *Minerva* **32** (1994) 309–326.
- [25.4] RAŽEM, D., Twenty years of radiation processing in Croatia, *Radiat. Phys. Chem.* **71** (2004) 597–602.
- [25.5] RAŽEM, D., The development of food irradiation in Croatia, *Prehrambeno-tehnol. Biotehnol. Rev.* **30** (1992) 135–153.

- [25.6] KATUŠIN-RAŽEM, B., RAŽEM, D., BRAUN, M., Irradiation treatment for the protection and conservation of cultural heritage artefacts in Croatia, *Radiat. Phys. Chem.* **78** (2009) 729–731.
- [25.7] RAŽEM, D., KATUŠIN-RAŽEM, B., “Irradiation method for the protection of Croatian cultural heritage objects”, Lecture Sem. Irradiation Methods in the Protection of Cultural Heritage, Zagreb, 2011, Croatian Conservation Institute, Zagreb (2011).
- [25.8] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ASTM, Practice for use of the ethanol–chlorobenzene dosimetry system, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 12.02. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA (2006) 1029–1039.
- [25.9] KATUŠIN-RAŽEM, B., MIHALJEVIĆ, B., BRAUN, M., “Irradiation method in the protection of cultural heritage objects endangered by massive biodegradation” (Lecture 5, Session V), Presentation Int. Scientific Conf. Protection of Cultural Heritage from Natural and Man-made Disasters, Zagreb and Šibenik, Croatia, 2014, National and University Library, Zagreb (2014).
- [25.10] INTERNATIONAL INSTITUTE FOR THE CONSERVATION OF HISTORIC AND ARTISTIC WORKS, News in brief..., *News in Conservation* **1** (2007) 2.
- [25.11] ARANICKI, A., JEMBRIH, Z., Conservation and restoration works on the lateral altar of St. Joseph’s in the parish church of the Holy Trinity in Legrad, *Preserv. Cult. Herit. Croat.* **31/32** (2007/2008) 215–236.
- [25.12] RAŽEM, D., “The use of gamma rays for microbial decontamination of cultural monuments”, Lecture Sem. Destruction of Cultural Monuments by Microbiological Decay, Zagreb, 2000, Croatian Conservation Institute, Zagreb (2000).
- [25.13] KATUŠIN-RAŽEM, B., “The conservation of cultural heritage artefacts made of textile by irradiation”, Lecture Professional Conf. The Most Important Procedures for Preserving and Improving the State of Textile Artworks, Zagreb, 2008, Croatian Conservation Institute, Zagreb (2008).
- [25.14] KATUŠIN-RAŽEM, B., RAŽEM, D., “How radiation method of preservation of cultural heritage objects meets ethical criteria?”, Lecture Int. Scientific Conf. Ethical Approach to Works of Art Made of Textiles, Zagreb, 2013, Croatian Conservation Institute, Zagreb (2013).
- [25.15] JURKIN, T., et al., “Radijacijska metoda u zaštiti tekstilnih predmeta kulturne baštine/Irradiation method for the protection of cultural heritage artefacts made of textile”, Poster Int. Scientific Conf. Ethical Approach to Works of Art Made of Textiles, Zagreb, 2013, Croatian Conservation Institute, Zagreb (2013).
- [25.16] PUCIĆ, I., KAVKLER, K., MIHALJEVIĆ, B., “Radijacijska obrada starenih modelnih uzoraka tekstila/Radiation treatment of artificially aged model textiles”, Poster Int. Scientific Conf. Ethical Approach to Works of Art Made of Textiles, Zagreb, 2013, Croatian Conservation Institute, Zagreb (2013).

- [25.17] BOBNJARIĆ-VUČKOVIĆ, V., “Tekstiloteka u Restauratorskom centru Hrvatskog restauratorskog zavoda u Ludbregu/The Textile Collection in the Conservation Centre of the Croatian Conservation Institute in Ludbreg”, Poster Int. Scientific Conf. Ethical Approach to Works of Art Made of Textiles, Zagreb, 2013, Croatian Conservation Institute, Zagreb (2013).
- [25.18] Irradiation Methods in the Protection of Cultural Heritage (Proc. Sem. Zagreb, 2011), Croatian Conservation Institute/Ruđer Bošković Institute, Zagreb/Zadar (2011).
- [25.19] PUCIĆ, I., KAVKLER, K., MIHALJEVIĆ, B., Material response as a criterion for the approach to radiation treatment of cultural heritage objects (Lecture 4, Session V), Int. Scientific Conf. Protection of Cultural Heritage from Natural and Man-made Disasters, Zagreb and Šibenik, 2014, National and University Library, Zagreb (2014).
- [25.20] CROATIAN CONSERVATION INSTITUTE, Archive of the Croatian Conservation Institute, <http://www.h-r-z.hr/en/index.php/strune-slube/arhiv>
- [25.21] KEKEZ, L., PAVAZZA, B., Romanesque Painted Crucifix from the Convent of St. Clare in Split, Croatian Conservation Institute (2011), <http://www.h-r-z.hr/en/index.php/djelatnosti/konzerviranje-restauriranje/drvena-polikromna-skulptura/332-romanesque-painted-crucifix-from-the-conventof-st-clare-in-split>
- [25.22] KEKEZ, L., DELIĆ, J., Polyptych of Girolamo da Santa Croce in Vis, Croatian Conservation Institute (2011), <http://www.h-r-z.hr/en/index.php/djelatnosti/konzerviranje-restauriranje/staf2/331-poliptih-girolama-da-santa-crocea-na-visu>
- [25.23] BAKŠA, V., Scientific and Conservation Restoration Works on Wooden Polychromic Sculpture of Blessed Virgin Mary with the Infant Jesus from the Chapel in Hromec, Graduate Thesis, Univ. Zagreb (2015).
- [25.24] KATUŠIN-RAŽEM, B., BRAUN, M., Participation of Croatia in the IAEA Project RER 8015 (Lecture No. 2), Proc. Sem. Irradiation Methods in the Protection of Cultural Heritage, Zagreb, 2011, Croatian Conservation Institute/Ruđer Bošković Institute, Zagreb (2011).
- [25.25] FAZINIĆ, S., BRAUN, M., Country Report: Croatia, RER 0034: Enhancing the Characterization, Preservation and Protection of Cultural Heritage Artefacts, IAEA, Vienna (2013), http://nuclculther.eu/wp-content/uploads/2013/12/CRO_REPORT-2012-2013-RER0034.pdf
- [25.26] DESPOT, R., HASAN, M., RAPP, A.O., BRISCHKE, C., HUMAR, M., WELZBACHER, C.R., RAŽEM, D., “Changes in selected properties of wood caused by gamma radiation”, Gamma Radiation (Adrović, F., Ed.), InTech, Rijeka (2012) 281–304.
- [25.27] VRTULEK, M., Preventive conservation of ecclesiastical textiles from Franciscan monastery in Slavonski Brod (Poster No. 9), Proc. Sem. Irradiation Methods in the Protection of Cultural Heritage, Zagreb, 2011, Croatian Conservation Institute/Ruđer Bošković Institute, Zagreb (2011).

- [25.28] RUNDEK FRANIĆ, B., FRANIĆ, A., Garments of Alka (Poster No. 7), Proc. Sem. Irradiation Methods in the Protection of Cultural Heritage, Zagreb, 2011, Croatian Conservation Institute/Ruđer Bošković Institute, Zagreb (2011).
- [25.29] KAVKLER, K., Fungi on Museum Textiles and Their Impact on Natural Fibres, PhD Thesis, Univ. Ljubljana (2011).
- [25.30] PUCIĆ, I., KAVKLER, K., MIHALJEVIĆ, B., Gamma irradiation for treatment of historic and modern textiles — A study of thermal properties, Book of Abstracts 23rd Meeting of Croatian Chemists and Chemical Engineers, Osijek, 2013 (HADŽIEV, A., BLAŽEKOVIĆ, Z., Eds), Croatian Society of Chemical Engineers, Zagreb (2013) 221.
- [25.31] JANKOVIĆ, I.R., Project Atelier Kožarić, Conservation of objects by irradiation for insect eradication (Poster No. 11), Proc. Sem. Irradiation Methods in the Protection of Cultural Heritage, Zagreb, 2011, Croatian Conservation Institute/Ruđer Bošković Institute, Zagreb (2011).
- [25.32] RUĐER BOŠKOVIĆ INSTITUTE, Upgrading of ^{60}Co Panoramic Irradiation Facility in Croatia (2013),
<http://www.irb.hr/eng/News/Upgrading-of-60Co-Panoramic-Irradiation-Facility-in-Croatia>

Capitolul 26

STADIUL ACTUAL AL APLICĂRII IRADIERII TEHNOLOGICE A PATRIMONIULUI CULTURAL ÎN FRANȚA

Q.K. TRAN, L. CORTELLA
ARC-Nucléart,
Grenoble, France
Email: quoc-khoi.tran@cea.fr

26.1. INTRODUCERE

ARC-Nucléart este plasat în Centrul de Cercetare Tehnologică Grenoble al CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives) și a fost înființat în comun de CEA, Ministerul Culturii, Consiliul Municipal din Grenoble, Consiliul Regional Rhône-Alpes și Asociația Pro-Nucléart. Acest consorțiu a fost creat în anul 1989, iar în 1997 a obținut statutul de «Grup de interes public pentru cultură», care i-a permis să fie administrat în mod independent ca o mică companie. ARC-Nucléart oferă servicii în conservarea/restaurarea artefactelor de patrimoniu cultural, în special cele din lemn, folosind diverse procese care vor fi descrise mai jos. Instituția originală a fost Laboratorul Nucléart, înființat în 1969 de către inginerul Louis de Nadaillac, în Centrul CEA din Grenoble, pentru studierea aplicațiilor iradierii gamma în industrie și în domeniul patrimoniului cultural.

În perioada de pionierat a anilor 1970, un mic grup de oameni de știință și tehnicieni a asumat provocarea de a consolida vechiul parchet al Muzeului Stendhal din Grenoble folosind o rășină polimerizată prin iradiere (vezi secțiunea 17.1). Succesul acestei operațiuni a dus la aplicarea tehnicii de dezinfectare și consolidare a obiectelor de patrimoniu cultural din lemn uscat – sculpturi, mobilier și artefacte etnografice. În același timp, în urma solicitărilor venite de la arheologi și curatori locali, au beneficiat de tratament de conservare utilizând procesul de întărire cu rășini radio-polimerizabile, artefactele arheologice din lemn, excavate în siturile subacvatice din zona Grenoble. În 1987, mumia lui Ramses II a fost dezinfectată cu succes prin iradierea gamma în centrul CEA din

Saclay, lângă Paris (vezi Capitolul 11). În anii '80, conservarea lemnului arheologic îmbibat cu apa a fost îmbunătățită prin crearea unui centru dedicat, susținut în comun de CEA, de Consiliul Municipal Grenoble și de Ministerul Culturii. Această inițiativă a permis Laboratorului Nucléart să dezvolte un alt proces, utilizat acum în întreaga lume, pentru conservarea lemnului îmbibat cu apă, de dimensiuni diferite, de la piese de mici dimensiuni la obiecte agabaritice, cum ar fi bărci sau epave. Tehnica, consolidarea cu polietilenglicol (PEG), a fost apoi folosită pentru a trata o canoe din secolul al 11-lea, excavată din lacul Paladru, lângă Grenoble. Laboratorul Nucléart a devenit ARC-Nucléart în 1989, când Consiliul Regional Rhône-Alpes s-a alăturat consorțiului. Momentul a fost urmat de adoptarea statutului de drept privat în 1997.

Acordul care leagă cei cinci parteneri pentru o perioadă reînnoibilă de 5 ani, definește în mod clar obiectivele ARC-Nucléart:

- tratamente de conservare/restaurare aplicate materialelor de patrimoniu cultural de origine organică, cum ar fi lemn uscat sau îmbibat cu apă, piele, frânghii și împletituri;
- studii și proiecte de cercetare pentru a dezvolta metode de analiză sau procese de conservare pentru rezolvarea unor noi probleme;
- școlarizare pentru absolvenți de facultăți și tehnicieni implicați în proiecte de cercetare naționale sau europene;
- activități de comunicare vizând partenerii ce se ocupă cu patrimoniul cultural și publicul larg.

De fapt, ARC-Nucléart oferă un spectru complet de servicii de conservare/restaurare, mergând de la serviciile la locul de excavare, până la asistența privind expunerea artefactelor în muzee. Această varietate este posibilă datorită unui personal multidisciplinar de aproximativ 20 de persoane (permanent și cu contract) finanțate de CEA (nouă persoane pentru management și activități științifice), Consiliul Municipal din Grenoble (doi tehnicieni), Ministerul Culturii (un curator de muzeu și un tehnician), în timp ce ARC-Nucléart este autorizat să angajeze șapte conservatori/restauratori pe bază de contract. Diversele sarcini de conservare/restaurare sunt realizate în spații dedicate care acoperă un total de 3000 de metri pătrați. Facilitățile au constat în anii 1970 numai din instalația de iradiere (Figurile 26.1 și 26.2); apoi în anii 1980 și 1990 au fost construite

facilitățile de impregnare cu PEG (Figura 26.3), urmate de adăugarea unor ateliere de restaurare și de spații de depozitare cu aer condiționat. Întreaga infrastructură există astăzi datorită încrederii și susținerii continue a statului, a CEA și a celorlalți parteneri în dezvoltarea activităților ARC-Nucléart.

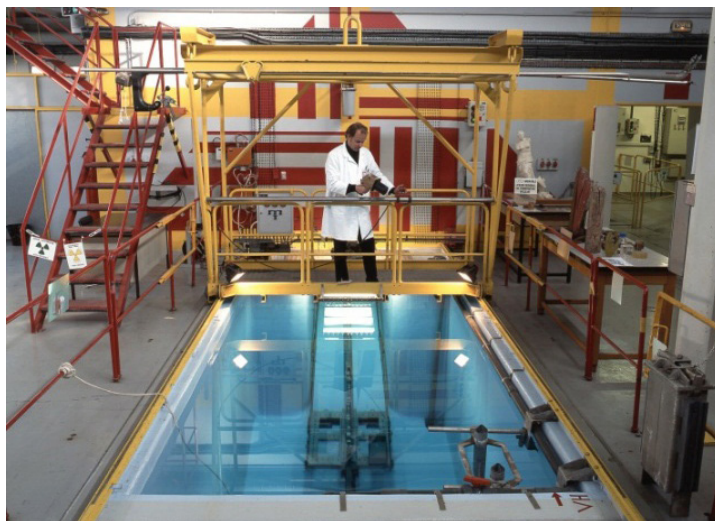


FIG. 26.1. Instalația de iradiere de la ARC-Nucléart.



FIG. 26.2. Iradierea statuilor policrome pentru eradicarea insectelor.



FIG. 26.3. Tancul de impregnare cu PEG (12 m × 6 m).

26.2. PROCESUL DE CONSERVARE

26.2.1. Iradierea gamma pentru dezinfecție și pentru consolidarea artefactelor de patrimoniu cultural

Eradicarea insectelor și dezinfecția se efectuează prin expunerea artefactelor la doze potrivite de radiații gamma: 0,5 până la 1 kGy pentru larve sau insecte xilofage și între 10 și 20 kGy pentru microorganisme. Cel mai mare debit de doză aplicat în camera de iradiere este de aproximativ 1 kGy/oră. În 2010, un pui de mamut înghețat din Siberia, Khroma, a fost dezinfecat la unitatea de iradiere ARC-Nucléart cu o doză totală de 20 kGy.

Consolidarea artefactelor de lemn degradate (aflate în stare uscată) se realizează printr-un proces în două etape, constând în impregnarea sub presiune, cu rășină poliesterică nesaturată, în recipiente din oțel (Fig.26.4), urmată de polimerizarea in situ a rășinii prin iradierea gamma cu doze variind de la 30 la 40 kGy. Primul pas durează aproximativ 24 de ore, iar cel de-al doilea necesită mai multe zile pentru ca rășina din interiorul obiectului să polimerizeze complet.



FIG. 26.4. Tancul din oțel inoxidabil pentru impregnare cu rășină.

26.2.2. Conservarea artefactelor arheologice îmbibate cu apă

Una dintre tehnicile de conservare a artefactelor arheologice îmbibate cu apă este un proces bine cunoscut și utilizat. Mai întâi, lemnul umed este impregnat cu o soluție apoasă de PEG (2000 g/mol), urmată de uscarea controlată în aer pentru obiecte mari, cum ar fi bărci sau naufragii, sau uscarea prin liofilizare pentru piese mai mici. În funcție de dimensiunile artefactului, faza de impregnare cu PEG poate dura de la câteva luni la mai mult de un an, în timp ce uscarea prin liofilizare poate dura aproape o lună, iar uscarea în aer, un an sau mai mult. Concentrațiile de PEG din băile de impregnare depind de metoda de uscarea: 30-40% PEG în soluții pentru uscarea prin liofilizare și până la 70% PEG pentru uscarea în aer. O epavă de epocă romană (cu lungime de 30 m, dar împărțită în 10 secțiuni) găsită la Arles pe râul Rhône, a fost tratată cu PEG și uscată prin liofilizare, fiind apoi expusă în Muzeul Arheologic Arles din 2013.

O altă tehnică utilizează o combinație a celor două procese descrise mai sus pentru conservarea artefactelor arheologice îmbibate cu apă, dacă

conțin compuși de fier în lemn. În primul rând, obiectul este liofilizat, după impregnare cu o soluție de concentrație minimă de 20% PEG și apoi obiectul uscat este impregnat cu rășina poliesterică radio-polimerizabilă. Această rășină hidrofobă are o acțiune dublă: consolidează lemnul și stabilizează sau protejează părțile cu fier de continuarea coroziunii în timpul expunerii în muzeu. De exemplu, prova și catargul epavei romane de la Arles au fost tratate cu acest așa numit procedeu Nucléart mixt, asociind a) liofilizarea cu un conținut minim de PEG, cu b) impregnarea cu amestec de rășină poliesterică și stiren urmată de polimerizarea prin iradiere (Figura 26.5). Prova, care s-a stabilit că este important de păstrat, a fost înrămată în metal, în ciuda riscului de coroziune și de apariție a reacțiilor de acidifiere atunci când fierul, sulfurul și PEG sunt împreună. Conținutul ridicat de rășină extrem de hidrofobă este de așteptat să împiedice coroziunea și să protejeze lemnul de difuzia acizilor în apă. În ceea ce privește catargul, pentru a putea fi plasat în poziție verticală, a fost necesar un nivel ridicat de consolidare (Figura 26.6).

26.2.3. Lucrări de restaurare

Lucrările de restaurare clasică (curățarea, lipirea, lăcuirea, asamblarea etc.) pentru artefacte istorice (mobilier, sculpturi din lemn policrom etc), precum și pentru colecții arheologice consolidate și uscate sunt realizate de o echipă de conservatori cu contract permanent. Dacă este necesar, sunt proiectate suporturi din lemn sau metalice pentru expunerea obiectelor în muzee.

26.3. PROIECTE DE CERCETARE ȘI COOPERARE

ARC-Nucléart are cooperări internaționale în domeniul conservării patrimoniului cultural, de exemplu prin proiecte europene de cercetare. Exemple:

- Proiectul „ARCO – Studii de Îmbătrânire a Artefactelor Arheologice Compozite Îmbibate cu Apă”, susținut de The European Commission Joint Programming Initiative on Cultural Heritage's Heritage Plus Call. S-a urmărit elaborarea unor protocoale originale de caracterizare, cu scopul stabilirii celor mai potrivite tratamente pentru



FIG. 26.5. Introducerea în camera de iradiere a probei corabiei romane de la Arles



FIG. 26.6. Corabia romană (având prova consolidată prin iradiere) în Muzeul Arheologic din Arles

artefactele arheologice compozite. În această cercetare desfășurată în perioada 2013 – 2015, au fost implicate patru țări: Norvegia, Danemarca, Italia și Franța.

- Cooperarea bilaterală între România și Franța privind conservarea artefactelor de patrimoniu cultural utilizând iradierea gamma (2013–2015), finanțată de IFIN-HH (România) și de CEA (Franța).

Scopurile principale ale cooperării au fost următoarele: vizite științifice, cercetarea efectelor iradierii asupra materialelor de patrimoniu cultural și transferul de tehnologie de la CEA la IFIN-HH privind consolidarea structurilor poroase.

- Seria de proiecte de cooperare tehnică ale Agenției Internaționale pentru Energie Atomică, cu tematica „Tehnici Nucleare de Caracterizare și Conservare a Artefactelor de Patrimoniu Cultural în Europa”. K. Tran și L. Cortella din echipa ARC-Nucléart au participat ca experți consultanți în proiectele RER 1006 (2005–2008), RER 8015 (2009–2011), RER 0034 (2012–2013), RER 0039 (2014–2015) și au organizat un curs de școlarizare în 2007 la Grenoble.

26.4. CÂTEVA PUBLICAȚII

ALONSO-OLVERA, A., TRAN, K., “Conservation of a pre-Columbian wooden sculpture: A Mexican-French collaboration using gamma radiation technology for consolidation”, Proc. ICOM-Committee for Conservation 15th International Conference, New Delhi, 2008, Vol. II, Allied Publishers, New Delhi (2008) 724–730.

CHAUMAT, G., ALBINO, C., TRAN, K., “A new protocol suitable for the treatment of composite archaeological artefacts: PEG treatment + freeze-drying + radiation-curing resin consolidation”, Proc. Int. Conf. Shipwrecks 2011: Chemistry and Preservation of Waterlogged Wooden Shipwrecks, Stockholm, 2011, Royal Institute of Technology, Stockholm (2011) 166–171.

TRAN, K., et al., “Characterization and conservation of a gun carriage excavated from the XVIIth century Stirling Castle shipwreck”, Proc. ICOM-Committee for Conservation 16th International Conference, Lisbon, 2011, Critério, Almada (2011).

TRAN, K., GUINARD, M., “Stabilisation of dry archaeological wood having sulphur compounds by impregnation of radiation-curing unsaturated polyester resin”, Proc. 10th ICOM Group on Wet Archaeological Materials Conference, Amsterdam, 2007, (STRAE-TKVERN, K., HUISMAN, D.J., Eds), Rijksdienst voor Archeologie, Cultuurlandschap en Monumenten, Amersfoort (2009).

Anexa I

STANDARDE APLICABILE

Această anexă cuprinde principalele standarde utilizabile în mod curent.

Standarde utilizabile pentru patrimoniu cultural

EN 15898:2011. Conservation of cultural property – Main general terms and definitions

ISO 21127:2014. Information and documentation – A reference ontology for the interchange of cultural heritage information
www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=57832

Standarde utilizabile pentru iradieri tehnologice

ISO 14470:2011. Food irradiation – Requirements for the development, validation and routine control of the process of irradiation using ionizing radiation for the treatment of food
www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=44074

ISO 11137-1:2006. Sterilization of health care products – Radiation – Part 1: Requirements for development, validation and routine control of a sterilization process for medical devices
www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=33952

ISO 11137-2:2013. Sterilization of health care products – Radiation – Part 2: Establishing the sterilization dose
www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=51238

ISO/ASTM 51702. Standard practice for dosimetry in a gamma facility for radiation processing (2013)

ISO/ASTM 51431. Standard practice for dosimetry in electron beam and X-ray (bremsstrahlung) irradiation facilities for food processing (2005)

Anexa II

PAGINI WEB DE INTERES

Următoarele pagini WEB pot fi utile cititorilor

Organizații internaționale dedicate patrimoniului cultural

ICOM-CC (International Council of Museums – Committee for Conservation)

www.icom-cc.org

ICCROM (International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property)

www.iccrom.org

ECCO (European Confederation of Conservator-Restorers' Organisations)

www.ecco-eu.org

CAMEO (Conservation and Art Materials Encyclopaedia Online – Museum of Fine Arts, Boston)

<http://cameo.mfa.org>

Organizații internaționale ce se ocupă de standardizare

ISO (International Organization for Standardization)

www.iso.org

CEN (European Committee for Standardization)

www.cen.eu

ICRP (International Commission on Radiological Protection)

www.icrp.org/

ICRU (International Commission on Radiation Units and Measurements)

www.icru.org

ACRONIME ȘI ABREVIERI

CEA	Comisariatul pentru Energie Atomică (structură administrativă în Franța)
<i>D</i>	Doză absorbită (sau mai simplu doză)
D_{\max}	Doza limită superioară
D_{\min}	Doza limită inferioară
D_{10}	Doza necesară pentru a reduce numărul de microorganisme cu un factor de 10 (un ordin de mărime)
ADN	Acid dezoxiribonucleic
DTG	Termogravimetrie diferențială
EB	Fascicol de electroni; în sintagma „accelerator EB” – accelerator de electroni
ECB	Etanol clorbenzen (sistem dozimetric cu ECB)
EPR/RES	Rezonanță paramagnetică electronică/rezonanță electronică de spin (două nume pentru același fenomen fizic, ce stă la baza identificării radicalilor liberi trapați)
FTIR	Spectroscopie de infraroșu cu transformată Fourier
NIR	Infraroșu apropiat (domeniu spectral)
IUPAC	Uniunea internațională pentru chimie pură și aplicată
keV	10^3 eV
MeV	10^6 eV
$LD_{50/30}$	Doza letală pentru 50% din subiecții iradiați în timp de 30 zile
PCA	Analiza componentelor principale
CTA	Triacetat de celuloză
MMA	Metil metacrilat
PEG	Polietilen glicol
PET	Polietilen tereftalat
PMMA	Polimetil metacrilat
TG	Termogravimetrie
UV	Ultraviolet

GLOSAR

Radiații ionizante: Radiații electromagnetice sau corpusculare care transportă suficientă energie pentru a ioniza atomii sau moleculele cu care se ciocnesc, prin eliberarea electronilor. Radiațiile gamma, X și o parte din cele ultraviolete sunt ionizante, în timp ce lumina vizibilă (inclusiv lumina laser), radiațiile infraroșii, microundele și undele radio sunt forme neionizante de radiație.

Radiație gamma: Radiație electromagnetică produsă în dezintegrarea nucleelor atomice radioactive. Intervalul de energie al radiației gamma se situează între câțiva keV și mai mulți MeV. Atomul radioactiv Cobalt-60, utilizat pentru iradierea artefactelor de patrimoniu cultural, emite radiații gamma de 1,17 MeV și 1,33 MeV.

Sursa radioactivă închisă: Capsulă etanșă dublă sau triplă în care este sigilat materialul radioactiv. Astfel este împiedicată eliberarea și dispersarea materialului radioactiv în cele mai severe situații care se pot întâlni în condiții normale de utilizare și manipulare.

Electron: Una dintre componentele atomice elementare, caracterizată prin masă mică și sarcină electrică negativă. Este o componentă fundamentală a unui atom. Electronul este plasat în afara nucleului atomic, dar poate fi generat în dezintegrarea nucleilor atomilor radioactivi, numindu-se în acest caz particulă beta. Electronii pot fi extrași din atomi în tuburi electronice vidate.

Fascicol de electroni (eng Electron Beam; **EB**): În afara semnificației evidente (grup de electroni care se deplasează în aceeași direcție), termenul EB se folosește și pentru a numi *acceleratorul de electroni* – instalația care produce fascicolul de electroni și îi accelerează, dându-le o anumită energie. Componentele de bază ale unui EB tipic sunt un tun de electroni (sursa de emisie a electronilor termici) și un dispozitiv generator de înaltă tensiune care accelerează fascicolul primar. Această utilizare a unei înalte tensiuni pentru a produce fascicule de electroni cu energie înaltă, permite conversia puterii curentului electric de alimentare, în putere a fascicolului de electroni, cu o eficiență mai mare de 95%, făcând astfel din prelucrarea materialelor cu EB o tehnică extrem de eficientă din punct de vedere energetic. După ieșirea din tunul electronic, fascicolul trece printr-un sistem cu lentile electromagnetice și bobine de deflexie,

care îl focalizează și accelerează. Sistemul poate livra fascicolul într-un punct staționar sau îl poate baleia. Energia electronilor variază de obicei în intervalul keV până la MeV, în funcție de adâncimea de penetrare utilă în aplicația practică respectivă.

Radiații X: Radiații electromagnetice ionizante care provin din perturbarea stării energetice a electronilor în atomi.

Generator de raze X: Un dispozitiv folosit pentru a genera raze X. Generatoarele de raze X sunt utilizate în mod obișnuit de către radiologi pentru a obține o imagine cu raze X a interiorului unui obiect (ca și în medicină sau testări nedistructive), dar ele sunt, de asemenea, utilizate în sterilizarea sau analiza cu fluorescență cu raze X. Un astfel de dispozitiv conține un tub de raze X, un tub vidat ce constă dintr-un catod care emite electroni prin efectul termoelectronic și un anod sau un anticatod în general realizat din tungsten (datorită proprietăților sale refractare și raportului ridicat de conversie a electronilor în raze X) sudat cu cupru pentru a evacua căldura generată de coliziune. Anodul și catodul sunt conectate la o sursă de alimentare de înaltă tensiune (în intervalul de câteva sute de kV până la mai mulți MV). Atunci când electronii accelerați se ciocnesc de țintă, doar un mic procent din energia rezultată este emis ca raze X, iar energia rămasă este eliberată sub formă de căldură. Este necesar un sistem de răcire pentru răcirea anodului; multe generatoare de raze X utilizează sisteme de recirculare a apei sau a uleiului.

Iradier: Procesul prin care un obiect este expus la radiații. Expunerea poate proveni din diferite surse. Cel mai adesea termenul se folosește pentru expunerea la radiațiile ionizante și la un nivel de radiație care va servi unui scop specific. Se poate însă folosi și pentru expunerea la niveluri normale produse de radiațiile cosmice, de fond. Termenul de iradiere exclude prin cutumă, de regulă, expunerea la radiații neionizante, cum ar fi infraroșu, lumină vizibilă, microunde sau unde electromagnetice emise de receptoare radio și TV.

Iradiator: Orice dispozitiv care produce radiații ionizante destinate să iradieze obiecte în scopuri definite (de exemplu, sterilizarea, modificarea chimică). Procesul nu lasă reziduuri radioactive și nu produce substanțe radioactive în obiectul iradiat. Radiația poate proveni dintr-o sursă închisă care conține un izotop radioactiv (cum ar fi Cobalt-60), de la un generator de raze X sau de la un EB.

Iradiere tehnologică: Iradierea intenționată a produselor sau materialelor pentru conservarea, modificarea sau îmbunătățirea caracteristicilor acestora.

Ecran împotriva radiațiilor: Material care protejează oamenii de radiațiile ionizante. Când radiația trece prin materie, intensitatea ei este diminuată. Materialele utilizate în mod obișnuit pentru ecranarea împotriva radiațiilor ionizante sunt: betonul, plumbul sau apa. Caracteristicile importante ale ecranelor sunt grosimea și densitatea. Cu cât este mai mare densitatea materialului folosit ca ecran, cu atât este mai eficientă ecranarea. Apa se utilizează pentru că este ieftină și ușor penetrabilă.

Dozimetrie: Măsurarea dozei absorbite prin utilizarea unui sistem dozimetric.

Dozimetru: Dispozitiv care prezintă o schimbare cuantificabilă când este iradiat, schimbare produsă de doza absorbită; schimbarea poate fi măsurată utilizând instrumente și proceduri adecvate de măsurare.

Debitul dozei: Doza absorbită livrată într-o unitate de timp; poate fi exprimată de exemplu în Gy/h.

Sistem dozimetric: Sistemul utilizat pentru măsurarea dozei absorbite constând din dozimetre, instrumente de măsurare, standardele de referință asociate și procedurile pentru utilizarea sistemului.

Raportul dozelor limită: Pentru fiecare produs sau proces, raportul $(D_{max})/(D_{min})$ definește fereastra acceptabilă a dozei; fiecare parte a produsului trebuie să primească o doză în acest interval.

Notă: Definiția în limba engleză a noțiunii de mai sus este „overdose ratio”. Am preferat să o traducem cu o formulă care să indice neechivoc semnificația noțiunii. Sintagma engleză are avantajul că include sugestia interdependenței celor doi termeni ai raportului, D_{max} și D_{min} , cum a fost explicat în capitolul 8.3.

Doză minimă (D_{min}): Doza minimă necesară pentru atingerea efectului urmărit, de exemplu nivelul de sterilitate dorit în produs.

Doză maximă (D_{max}): Doza maximă, pragul, dincolo de care apar modificări nedorite în materialul iradiat.

Doză echivalentă: Este un concept utilizat doar în protecția radiologică, pentru evaluarea efectelor biologice ale radiațiilor ionizante. Relevanța acestui concept pentru orice aplicație a iradierii tehnologice, inclusiv pentru conservarea patrimoniului, este nesemnificativă.

Îl menționăm aici, pentru a elimina orice confuzie posibilă. Doza echivalentă se calculează prin înmulțirea dozei absorbite cu un factor de ponderare caracteristic fiecărui tip de radiație în parte (alfa, beta, gamma, neutron et al). Unitatea de măsură SI pentru doza echivalentă se numește Sievert (Sv). Pentru radiațiile X și gamma, o doză absorbită de 1 Gy corespunde unei doze echivalente de 1 Sv, deoarece factorul de ponderare pentru aceste radiații este 1.

Debitul dozei echivalente: Doza echivalentă livrată într-o unitate de timp, de exemplu în Sv/h.

Sistem dozimetric de rutină: Sistem dozimetric calibrat pe baza unui sistem dozimetric standard de referință și utilizat pentru măsurători de rutină a dozei absorbite, cum ar fi cartografierea dozei și monitorizarea procesului.

Microorganism: Entitate vie de dimensiuni microscopice, care poate fi o singură celulă sau un organism multicelular. Microorganismele sunt foarte diverse și includ toate bacteriile, virușii și protozoarele, precum și unele ciuperci, alge și altele.

Efectul biocid al iradierii: Degradarea ADN-ului din celulele microorganismelor, insectelor sau ciupercilor în urma expunerii la radiații ionizante, conducând la eradicarea acestor organisme.

Sterilitate: Sterilitatea poate fi înțeleasă drept lipsa microorganismelor viabile. Acesta este definită pentru un obiect în termeni funcționali. De exemplu, în practica farmaceutică, un container este considerat ca fiind steril când probabilitatea de prezenta a microorganismelor viabile este mai mică decât unul dintr-un milion.

Sterilizare: Proces validat, utilizat pentru a obține un produs steril.

Procesul de sterilizare: Procesul care duce la sterilizare. Într-un proces de sterilizare, nivelul de deces microbial este descris de o funcție exponențială. Prin urmare, prezența microorganismelor viabile pe orice element individual poate fi exprimată în termeni de probabilitate. În timp ce această probabilitate poate fi redusă la un număr foarte scăzut, ea nu poate fi niciodată redusă la zero. Această probabilitate poate fi exprimată ca un nivel de asigurare a sterilității.

Conservare preventivă: Toate măsurile și acțiunile menite să evite sau să minimalizeze o viitoare deteriorare sau pierdere a artefactelor de patrimoniu. Acestea se aplică sau se desfășoară în prezența sau în preajma unui obiect sau a unui grup de obiecte, indiferent de

vechimea sau starea lor. Aceste măsuri și acțiuni sunt indirecte. Ele nu interferează cu materialul și structura artefactelor. Acestea din urmă nu își modifică aspectul în urma aplicării măsurilor de conservare preventivă. Exemple de conservare preventivă sunt măsurile și acțiunile adecvate pentru înregistrarea, depozitarea, manipularea, ambalarea și transportul, securitatea, managementul mediului (lumină, umiditate, poluare și combaterea dăunătorilor), planificările pentru situații de urgență, educarea personalului, conștientizarea publică și respectarea legislației.

Conservarea prin remediere: Toate acțiunile aplicate direct unui artefact sau unui grup de artefacte, care au ca scop oprirea proceselor de biodegradare sau întărirea structurii artefactului. Aceste acțiuni se efectuează numai atunci când elementele sunt într-o stare atât de fragilă sau se deteriorează atât de repede încât acestea ar putea fi pierdute într-un timp relativ scurt. Aceste acțiuni modifică uneori aspectul artefactelor. Exemple de conservare de remediere sunt desalinizarea ceramicii, dezacidifierea hârtiei, deshidratarea materialelor arheologice umede, stabilizarea metalelor corodate, consolidarea picturilor murale și îndepărtarea buruienilor din mozaicuri.

Restaurare: Toate acțiunile aplicate direct unui singur element stabil care vizează facilitarea aprecierii, înțelegerii și utilizării acestuia. Aceste acțiuni se efectuează numai atunci când elementul a pierdut o parte din semnificația sau funcția sa. Ele se bazează pe respectul pentru materialul original. Cel mai adesea, astfel de acțiuni modifică aspectul elementului. Exemple de restaurare sunt retușarea unei picturi, reasamblarea unei sculpturi rupte, remodelarea unui coș și completările de umplere pe un vas de sticlă sau ceramica.

Efecte colaterale (ale iradierii): În contextul tratamentelor cu radiații ale artefactelor patrimoniului cultural, numim efecte colaterale sau secundare, acele efecte ce pot însoți dezinsecția sau consolidarea. Deseori ele depind de doza aplicată. În cazul tratamentului de dezinsecție pot apărea modificarea culorii, degradarea mecanică a rezistenței, modificarea aspectului suprafeței. În cazul consolidării, introducerea de noi compuși în structura artefactului, poate genera interacțiuni chimice cu substratul. Aceste efecte și relația cu doza de iradiere trebuie cunoscute.

Calitate [cf. ISO 9000]: Gradul în care un set de caracteristici inerente îndeplinește cerințele.

Asigurarea calității [cf. ISO 9000]: Parte a managementului calității care asigură încrederea că cerințele de calitate vor fi îndeplinite.

Controlul calității [cf. ISO 9000]: Parte a managementului calității care asigură îndeplinirea cerințelor de calitate.

Sistemul de management al calității [cf. ISO 9000]: Sistem de management care administrează și controlează o organizație în ceea ce privește calitatea.

Manualul calității [cf. ISO 9000]: Document ce descrie sistemul de management al calității într-o organizație.

BIBLIOGRAFIE SUPLIMENTARĂ

- BRADLEY, D., CREAGH, D., *Physical Techniques in the Study of Art, Archaeology and Cultural Heritage*, Vol. 1, Elsevier, Amsterdam (2006).
- DETANGER, B., RAMIÈRE, R., DE TASSIGNY, C., EYMERY, R., DE NADAILLAC, L., “Application de techniques de polymérisation au traitement des bois gorgés d’eau”, *Proc. Int. Conf. Applications of Nuclear Methods in the Field of Works of Art*, Rome, 1973, Accademia nazionale dei lincei, Rome, (1976) 637–643.
- EUROPEAN COMMISSION, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION, OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, WORLD HEALTH ORGANIZATION, *Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3*, IAEA, Vienna (2014).
- IDRISS ALI, K.M., KHAN, M.A., “Wood plastic composites”, *Polymeric Materials Encyclopedia*, Vol. 11 (SALAMONE, J.C., Ed.), CRC Press, Boca Raton, FL (1996) 8741–8760.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Nuclear Techniques for Cultural Heritage Research*, IAEA Radiation Technology Series No. 2, IAEA, Vienna (2011).
- LAZURIK, V.M., LAZURIK, V.T., POPOV, G., ROGOV, Y., ZIMEK, Z., *Information System and Software for Quality Control of Radiation Processing*, Institute of Nuclear Chemistry and Technology, Warsaw (2011).
- PUCIC, I., KAVKLER, K., MIHALJEVIC, B., “Material response as a criterion for the approach to radiation treatment of cultural heritage objects”, *Proc. Int. Conf. Protection of Cultural Heritage from Natural and Man-made Disasters*, Zagreb, 2014, National and University Library in Zagreb (2015).
- RAMIÈRE, R., “La désinfection des biens culturels par irradiation gamma”, *Les contaminants biologiques des biens culturels* (ROQUEBERT, M.F., Ed.), Museum National d’Histoire Naturelle/Elsevier, Paris (2002) 291–302.
- TEPLÝ, J., FRANĚK, Č., KRAUS, R., ČERVENKA, V., *Mobile irradiator and its application in the preservation of the objects of art*, *Rad. Phys. Chem.* **28** 5–6 (1986) 585–588.
- URBAN, J., JUSTA, P., *La radioconservation au musée de Bohême Centrale à Roztoky*, *Mus.* **151** (1986) 165–167.
- WICHMANN, J., *Untersuchung der Auswirkung von Gamma-Strahlung auf Bucheinbandleder*, BA Thesis, Hornemann Institut, Hildesheim (2009).

CONTRIBUȚII LA REDACTARE ȘI REVIZIE

Boutaine, J.L.

Centre de recherche et de restauration des Musées de France, France;
www.c2rmf.fr

Havermans, J.B.G.A.

TNO Environmental Modelling, Sensing and Analysis, Netherlands;
www.tno.nl

Ponta, C.C.

Institutul Național pentru Fizică și Inginerie Nucleară Horia Hulubei,
România; www.nipne.ro

Tran, Q.K.

ARC-Nucléart, France; www.arc-nucleart.fr

Vasquez, P.A.S.

Nuclear and Energy Research Institute, Brazil; www.ipen.br

Întâlnire de lucru

Viena, Austria: 6-10 octombrie 2014

Iradierea tehnologică a fost utilizată cu succes în ultimii ani pentru conservarea și consolidarea artefactelor patrimoniului cultural, cu participarea muzeelor, bibliotecilor și arhivelor. Obiectivul acestei cărți este de a oferi profesioniștilor cu profil analitic, inclusiv radiochimiștilor, polimeriștilor și radiomicrobiologilor, informații esențiale care să le permită să interacționeze cu conservatorii și restauratorii, cu alți profesioniști din domeniul cultural, în domeniul multidisciplinar al utilizării radiațiilor ionizante pentru conservarea și consolidarea artefactelor culturale.

ISBN 978-606-94603-8-2