

**MARIANA MUSTAȚĂ, GHEORGHE MUSTAȚĂ, BOGDAN  
UNGUREAN, MINA-ADRIANA MOȘNEAGU, GEORGIANA  
GĂMĂLIE-MOLDOVEAN ȘI LOREDANA AXINTE**

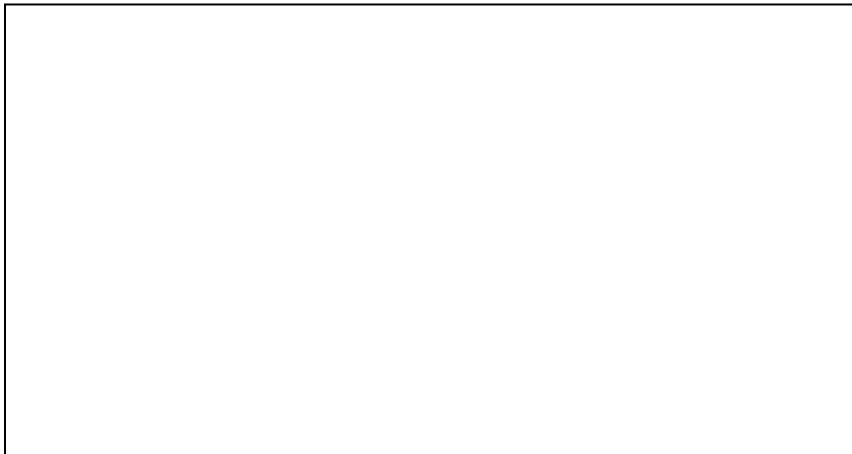
**ETIOPATOLOGIA OPEREI DE  
ARTĂ**

**Editura Academiei Oamenilor de Știință din România  
București, 2013**

Referenți științifici: - *Acad. Prof. dr. Constantin Toma*  
- *Acad. Prof.dr. Ion Dediu*  
- *Prof.dr. Ionel Andriescu*  
- *Prof.dr. Mircea Varvara*

Coperta: *Bogdan Ungurean*

Tehnoredactor: *Roxana Climescu*



## Prefață

Cartea **Etiopatologia operei de artă** se adresează atât studenților de la secțiile de Conservarea Bunurilor de Patrimoniu, cât și specialiștilor care lucrează în acest domeniu.

Datele acumulate și prezentate sunt rodul cercetărilor personale ale autorilor, efectuate în cadrul tezelor de doctorat și a lucrărilor de licență sau de disertație a unor studenți și masteranzi.

Personal am început activitatea de conservare a bunurilor de patrimoniu în cadrul Laboratorului Zonal de Conservare și Restaurare a Bunurilor de Patrimoniu din cadrul Complexului Muzeal Iași. În șantierele de conservare a bunurilor de patrimoniu pe care le-am organizat la Casa „Dosoftei” din Iași, la mănăstirile Putna, Trei Ierarhi, la iconostasul Catedralei Vechi din Iași, la multe biserici și muzee din Moldova și la Castelul Peleş am avut posibilitatea să cunosc care este realitatea privind starea de sănătate și de conservare a bunurilor de patrimoniu și interesul pe care îl au cei care răspund de patrimoniul cultural național.

Prin înființarea Secției de Teologie Ortodoxă-Patrimoniu Cultural la Facultatea de Teologie Ortodoxă a Universității „Al.I.Cuza” din Iași am avut posibilitatea să asigur baza materială acestei secții astfel încât aceasta a fost prima Secție de Teologie Ortodoxă-Patrimoniu Cultural atestată de specialiștii de la C.N.E.A.A.

Am deschis cu studenții, apoi și cu masteranzii șantiere de lucru pentru conservarea unor obiecte de interes eclezial la mănăstirile: Putna, Trei Ierarhi Iași, Horaița, Horăicioara etc.

La Casa „Dosoftei” din Iași a fost necesar să folosim cantități uriașe de acid cianhidric (HCN) pentru a stopa atacul unor insecte dăunătoare cărților și altor obiecte de patrimoniu.

În calitate de Șef de Catedră și de coordonator al activităților de cercetare de la **Resurrectio** am reușit să formez un colectiv de specialiști care să lucreze în domeniul conservării bunurilor de patrimoniu cultural.

Prin coordonarea unor lucrări de licență și apoi de disertație (de la Secția de master în Conservarea Patrimoniului, de la Facultatea de Biologie) am reușit să atrag pe unii studenți și masteranzi pe ogorul conservării bunurilor de patrimoniu. Colectivul de cercetare s-a mărit în timp, iar rezultatele au început să se concretizeze în multiple lucrări științifice, publicate în reviste de specialitate și în elaborarea tezelor de doctorat de către: Georgiana Moldovan, Bogdan Ungurean, Moșneagu Mina și Loredana Axinte, teze coordonate de profesorul Gheorghe Mustăța.

Putem considera că astfel s-a format în jurul meu și al soțului meu o școală de conservare a bunurilor de patrimoniu în cadrul Universității „Al.I.Cuza”. Datele acumulate și prezentate în această carte sunt originale, acumulate de autori cu multă trudă, pasiune și competență. Sperăm ca aceste date să fie utile tuturor celor ce doresc să se inițieze și să lucreze în domeniul conservării bunurilor de patrimoniu.

Munca de conservare a bunurilor de patrimoniu este deosebit de grea și de complexă datorită faptului că suportul material al bunurilor de patrimoniu este foarte variat (lemn, hârtie, pergament, piele, țesături, piatră, marmură, sticlă, metale etc.), iar numărul speciilor biodeterioare este copleșitor de mare, aparținând tuturor regnurilor (Monera, Protista, Fungi, Plantae, Animalia).

Fiind vorba de bolile care macină bunurile de patrimoniu desigur că, cunoașterea etiologiei lor în acțiunea de conservare este crucială. Ca în orice boală, punerea unui diagnostic corect este primordială. Aceasta nu se face oricum, solicită cunoaștere și experiență. În această situație nu este suficientă doar identificarea cu adevărat științifică a agenților biodeterioratori, ci și cunoașterea biologiei, ecologiei și etologiei lor pentru a putea stabili tratamentul corespunzător pentru înlăturarea bolii și pentru conservarea cu adevărat științifică a bunurilor de patrimoniu.

Pe cât a fost posibil noi am căutat să acoperim unele dintre elementele necesare cunoașterii în domeniul etiopatologiei operei de artă.



Urmărind iconografia acestei cărți nu trebuie să fii specialist ca să-ți dai seama în ce stare se pot găsi unele bunuri de patrimoniu care intră în tezaurul național al marșului nostru și cât de urgentă trebuie să fie intervenția formelor superioare pentru salvarea acestui tezaur.

Legea 182/2000 privind protejarea patrimoniului național mobil (republicată la 09/12/2008)

Art. 3.1. „*Patrimoniul cultural mobil este alcătuit din bunuri cu valoare istorică, arheologică, documentară, etnografică, artistică, științifică și tehnică, literară, cinematografică, numismatică, filatelică, bibliofilă, cartografică și epigrafică, reprezentând mărturii materiale ale evoluției mediului natural și ale relațiilor omului cu acesta, ale potențialului creator uman și ale contribuției românești și a minorităților naționale la civilizația universală.*”

Patrimoniul cultural este cartea de vizită a unui popor, ce-l reprezintă în fața lumii întregi; poartă amprenta ființei sale naționale.

Un popor care nu-și cunoaște patrimoniul cultural este asemenea unui copil care nu-și cunoaște părinții.

Un popor care nu-și conservă patrimoniul cultural și nu-l face cunoscut lumii întregi riscă să se autodistrugă, să-și piardă ființa națională.

Mulțumim tuturor celor care au fost alături de noi și ne-au ajutat în realizarea acestei cărți.

**Conf.dr. Mariana Mustață**



## Introducere

*„Apropierea dintre un monument și un organism nu este deloc forțată, nu este o simplă metaforă, dimpotrivă, ea corespunde unei realități. Într-adevăr, un monument, o operă de artă, se comportă asemenea unui organism viu, se află într-o relație dinamică cu mediul înconjurător”.*

Vasile Drăguț

Asemenea unei ființe o operă de artă are un început (o zi de naștere), o existență în timp, o perioadă de îmbătrânire, fiind expusă inexorabil vrăjmașilor mediului abiotic și biotic și un deces. Este supusă atacului unor agenți patogeni care îi provoacă anumite boli. Putem vorbi de patologia operei de artă, de patologia cărților și în genere de patologia bunurilor de patrimoniu.

Este cunoscut faptul că **etiopatologia** studiază cauzele apariției și dezvoltării condițiilor propice bolilor, precum și evenimentele, reacțiile și mecanismele patologice care se dezvoltă în evoluția bolii.

Prin **patogeneza** sau **patogenie** înțelegem ansamblul proceselor biofizice, biochimice și biologice care explică apariția unei boli. Asupra bunurilor de patrimoniu acționează în mod constant o serie de factori fizici, chimici și biologici care, conjugându-și acțiunile în funcție de microclimatul în care se găsesc, pot provoca apariția a diferitelor tipuri de boli.

Specialiștii care lucrează în domeniul conservării bunurilor de patrimoniu trebuie să se comporte față de acestea așa cum se comportă medicii cu pacienții lor. Mai mult decât atât, în zilele noastre se vorbește tot mai mult de **medicina omului sănătos**; aceasta înseamnă să tratezi pacientul în așa fel încât să nu se îmbolnăvească. Acest mod de a privi lucrurile trebuie să devină principiu de bază în asigurarea sănătății bunurilor de patrimoniu.

Se conturează astfel un domeniu de activitate pe care-l vom numi **ETIOPATOLOGIA OPEREI DE ARTĂ** care trebuie să stea la baza asigurării sănătății bunurilor de patrimoniu.

Prima condiție care se pune în vederea asigurării unui tratament în orice boală este stabilirea unui diagnostic corect. Atunci când nu se cunosc cu precizie cauzele bolilor trebuie să se caute factorii care au determinat apariția bolii respective și mecanismele implicate în producerea bolii. Atunci când nu poate fi precizată cauza, elucidarea mecanismelor de producere impune descoperirea acelor factori a căror acțiune se corelează cu apariția bolii; este vorba de **factorii de risc**, care nu produc în mod direct boala, dar pot fi implicați în mecanismul patogenic. Factorii de risc sunt diferiți și au semnificații diferite în apariția unei boli.

Boala bunurilor de patrimoniu provoacă așa-numitul proces de **biodeteriorare**.

Boala este provocată, în mod obișnuit, de anumiți agenți patogeni. Aceștia declanșează boala în anumite condiții favorizante, care formează un așa-numit **complex etiopatogenic**. Agenții patogeni sunt micro- sau macroorganisme (virusuri, bacterii, fungi, protiste, animale parazite etc.). Fiind vorba de organisme este lesne de înțeles că acestea devin cu adevărat patogene în anumite condiții de mediu; așa-numiții **factori etiologici**.

Boala bunurilor de patrimoniu este provocată de o serie de agenți biodeterioratori; aceștia sunt organisme din diferite regnuri, care folosesc ca suport nutritiv obiecte de patrimoniu. Substratul nutritiv nu este exclusiv de natură-organică, ci și de natură anorganică. Putem considera că nu există substanțe de natură biologică, sau organică nesupuse unui proces de biodegradare.

Din punct de vedere ecologic organismele sunt împărțite în 3 mari categorii: producători, consumatori (fitofagi și zoofagi) și descompunători. Nici una din aceste categorii nu poate lipsi din natură. Descompunătorii au rolul de a asigura marele circuit ecologic bio-geo-chimic, prin care toate substanțele de natură biologică sunt descompuse și repuse în acest mare circuit.

Descompunătorii reprezintă o binecuvântare a naturii. Pentru om aceștia pot deveni dăunători atunci când au tendința de reintroducere în circuitul bio-geo-chimic unele dintre bunurile de patrimoniu. Bacteriile și funghi sunt organisme esențiale în procesele

de biodegradare. În această situație foarte multe specii devin agenți biodeterioratori.

Consumatorii își au funcția lor ecologică în natură contribuind la circuitul materiei și energiei. Consumatorii fitofagi pot deveni dăunători ai bunurilor de patrimoniu atunci când consumă din substratul unor bunuri de patrimoniu.

Speciile xilofage pot deveni dăunători atunci când atacă bunurile de patrimoniu construite din lemn. Unele specii sunt deosebit de dăunătoare putând deteriora icoane, iconostase și diferite obiecte din lemn. Este vorba de specii aparținând termitelor și familiilor: Anobiidae, Cerambycidae, Lyctidae, Curculionidae etc. din ordinul Coleoptera care rod lemnul făcând galerii. Desigur că aici putem introduce și rozătoarele dintre mamifere, care pot produce pagube bunurilor de patrimoniu. Toate aceste specii atacă în aceeași măsură și hârtia, celuloza, cartonul, papirusul, pergamentul etc. Unele specii care pot fi trecute în categoria consumatorilor zoofagi pot ataca pieile, blănurile, lâna, colecțiile de insecte și animalele naturalizate din muzee etc. Sfera agenților biodeterioratori bunurilor de patrimoniu se lărgeste astfel cu o multitudine de specii consumatoare. Lucrurile se complică și mai mult deoarece și unele specii de producători pot deveni agenți biodeterioratori.

Bacteriile autotrofe chemosintetizante pot folosi ca substrat nutritiv rocile, marmura, cimentul, sticla, diferite metale și metaloide. Sulfobacteriile, nitratbacteriile, nitritbacteriile sunt doar câteva din bacteriile responsabile de procese de biodegradare (biocoroziune).

Chiar și unele bacterii fotosintetizante, cum sunt cianobacteriile pot folosi ca substraturi nutritive unele substanțe anorganice. Asemenea algelor acestea formează la suprafața substratului nutritiv un **film biologic** care intră în interrelație cu acesta producând procese de biodegradare. Filmele biologice, sau așa-numitele patine biologice sau biopatine sunt formate din bacterii, alge și fungi. Patinele biologice sunt pelicule fine monodimensionale (nu se dezvoltă pe înălțime). Lor li se pot asocia și licheni și mușchi și chiar unele plante superioare care transformă astfel filmul biologic într-o biodermă vegetală tridimensională.

Ne dăm seama că, în categoria agenților biodeterioratori introducem organisme din toate cele trei categorii trofice: producători, consumatori (fitofagi, zoofagi, omnivori și polifagi) și descompunători, care pot aparține la diferite regnuri: MONERA, PROTISTA (alge, protozoare), FUNGI, PLANTAE (mușchi, licheni, plante superioare) și ANIMALIA (moluște, crustacee, insecte, păsări, mamifere).

Fiind vorba de organisme vii care atacă bunurile de patrimoniu conștientizăm că acestea au nevoie de anumite condiții de mediu care să le permită fixarea pe suporturile nutritive, acționarea (cu declanșarea atacului) și desfășurarea ciclului biologic, ceea ce se soldează cu biodegradarea acestora.

Vorbim astfel de un **complex etiopatogenic** care cuprinde în mod obligatoriu factori biotici și abiotici.

Factorii biotici sunt reprezentați de speciile care folosind obiectele de patrimoniu ca substrat nutritiv devin agenți biodeterioratori. Aceștia intră în categoria **factorilor determinanți**. În lipsa lor nu poate avea loc un proces de biodegradare, cel mult unul de degradare fizică sau chimică.

**Factorii favorizanți** sunt cei care asigură condiții optime pentru germinare (sporilor, a formelor de rezistență), agenților biodeterioratori, deci pentru acționarea lor. Este cunoscut faptul că bacteriile, funghi, algele și lichenii pot forma diferite structuri de rezistență, care fac posibilă supraviețuirea la condiții extreme de mediu. Unele specii pot intra în așa-numitul fenomen de **anabioză**, ceea ce presupune reducerea proceselor metabolice la minimum posibil. Formele de rezistență își reiau procesele metabolice normale în condiții optime de mediu.

În categoria factorilor favorizanți putem cuprinde: temperatura, umiditatea, lumina, curenți de aer, existența unor radiații ionizante și neionizante, pH-ul etc.

Așa cum vom vedea, orice specie prezintă anumite preferințe față de acești factori.

Urmărind constantele termice ale unei specii vom vedea că diferențiem:

- **un prag biologic** ( $t_0$ ), sub care activitățile biologice încetează;
- **un prag termic superior** (T) peste care activitățile biologice încetează;
- **un prag de prolificitate** (O) de la care începe înmulțirea;
- **un prag optim** ( $O_1$ ) la care ciclul biologic se desfășoară cel mai rapid.

În mod asemănător agenții biodeterioratori au anumite preferințe și pentru ceilalți factori favorizanți.

Trebuie să înțelegem că sub valorile minime și peste valorile maxime factorii favorizanți devin factori **limitativi**. Aceștia declanșează sau stopează procesele biologice.

În ecologie au fost descoperite două legi care stabilesc relațiile dintre factorii biologici și mediu:

- **legea minimului**, formulată de Liebig, care postulează că în condiții de mediu staționar un element devine factor limitant. Astfel un spor de bacterie sau de fungi chiar dacă are suficientă hrană la dispoziție, o umiditate optimă și lipsa luminii nu poate germina dacă temperatura este sub pragul biologic sau deasupra pragului termic superior. În acest caz temperatura devine un factor limitant.
- **legea toleranței**, formulată de Shelford, care postulează că organismele au și un maxim ecologic, un interval ce reprezintă limita de toleranță, optimul ecologic găsindu-se undeva în acest interval.

Organismele pot avea limite de toleranță foarte largi pentru un factor, dar înguste pentru un alt factor. Organismele cu un diapazon larg de toleranță față de majoritatea factorilor are, de obicei, o arie largă de răspândire.

Când condițiile unui factor ecologic nu sunt optime pentru o populație, atunci se poate reduce și diapazonul de toleranță față de alți factori ecologici.

Cercetările au demonstrat că limitele de toleranță pentru stadiile tinere sunt mai înguste decât pentru formele adulte.

Legea toleranței arată că față de acțiunea aceluiași factori speciile se comportă diferit; unele pot suporta variații mari, altele foarte restrânse. Aceasta înseamnă că speciile au valențe ecologice

diferite față de factorii de mediu. Cunoașterea acelor valențe devine o necesitate în conservarea bunurilor de patrimoniu.

Reținem deci că orice factor ecologic poate deveni factor limitant.

**Factorii precipitanți** sunt cei care influențează cursul unei boli, provocând fie angajarea bolii din stadiul latent în stadiul manifest, fie accelerând evoluția bolii.

Când unul sau mai mulți factori ating valorile optime pot deveni factori precipitanți provocând accelerarea procesului patogen.

Specialiștii care lucrează în domeniul conservării bunurilor de patrimoniu trebuie să țină sub control microclimatul din muzee, din sălile de expoziție și din depozite astfel încât factorii abiotici să nu tindă către valorile optime ale unor specii. Măcar unul din factorii favorizanți trebuie să devină factor limitativ. Factorii scăpați de sub control pot deveni **factori de risc**. Factorii de risc nu produc boala, dar sunt implicați în mecanismul patogen.

Descoperim astfel existența unui complex etiopatogenic în care sunt implicați toți factorii care determină declanșarea bolii și realizarea procesului de biodeteriorare.

Ținând cont de cele prezentate ne dăm seama că timpul întoarce substanțele organice în mineral și alterează în aceeași măsură și mineralul. În activitatea de conservare a bunurilor de patrimoniu omul nu încearcă altceva decât să se opună marelui circuit bio-geo-chimic natural sau măcar să-l întârzie.

Prin conservare și restaurare trebuie să înțelegem măsurile prin care încercăm să îndepărtăm complexul de factori etiopatogenici astfel încât să prelungim nedefinit viața obiectelor de patrimoniu.

Conservarea bunurilor de patrimoniu a devenit, după o lungă perioadă de empirism, o știință menită să asigure sănătatea bunurilor de patrimoniu și să se opună procesului de biodegradare.

Termenul de **conservare** provine de la verbul latinesc **conservo**, care înseamnă păstrare (păstrare în întregime). Înseamnă a păstra un obiect în așa fel încât să nu-și piardă caracteristicile sale structurale și funcția pe care o îndeplinește (document, obiect de artă etc.)



Conservarea trebuie să asigure acele condiții ecologice ale microclimatului care să nu permită atacul agenților biodeterioratori. Aceasta presupune cunoașterea biologiei și ecologiei agenților biodeterioratori și a întregului complex etiopatogenic.

Conservarea nu este o îndeletnicire nouă, însă a fost și va fi influențată în fiecare epocă de evoluția științei și a tehnicii. Activitatea de conservare trebuie să țină pasul cu progresele acumulate de societatea umană.

Conservarea presupune o abordare pluridisciplinară a problemelor specifice; în acest domeniu nu mai este acceptat amatorismul.

Tindem să credem că specialiștii care lucrează în domeniul conservării bunurilor de patrimoniu eclezial să fie cu adevărat credincioși deoarece numai aceștia știu să prețuiască sfințenia.

Patrimoniul cultural este o componentă a avuției naționale. Numărul, compoziția și valoarea sa exprimă specificul cultural național, pe de o parte, iar starea sa ne prezintă gradul de civilizație a societății respective, pe de altă parte.

Valorile spiritualității religioase, materializate în biserici, mănăstiri, iconostase, icoane, cărți de învățătură, hrisoave, manuscrise, vase de cult, broderii, veșminte, atâtea câte ne-au mai rămas ridică mari probleme de conservare. Se impune o trezire din starea de letargie și de nepăsare față de bunurile culturale ale neamului nostru. Trecem printr-o perioadă de criză de identitate și de neîncredere întreținută de clasa politică; nu ne mai cunoaștem valorile, nu ne mai iubim cultura și tezaurul acumulat din timpuri istorice.

Activitatea de conservare a bunurilor de patrimoniu este o activitate științifică, nu se învață într-o perioadă de 2-3 săptămâni sau de câteva luni, cum se încearcă acum cu o inconștientă încăpățănată.

Activitățile specifice legate de protecție și conservarea bunurilor de patrimoniu includ un ansamblu de cunoștințe științifice și un comportament caracteristic omului de știință.

Activitatea de conservare are ca scop asigurarea integrității valorilor culturale, prelungirea la maximum a existenței acestora.

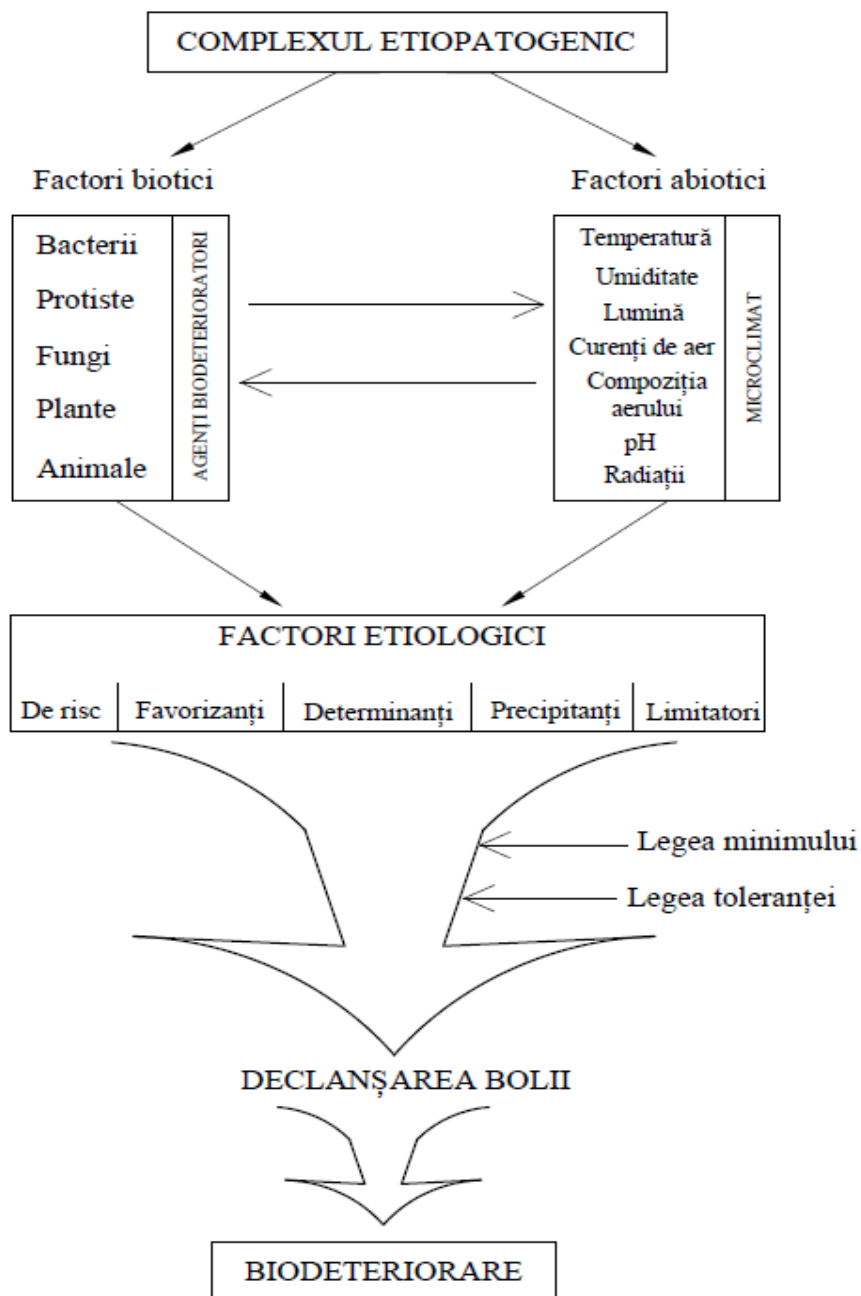
Conservarea bunurilor de patrimoniu pornește de la cunoaștere, este o activitate permanentă, care nu poate fi făcută de o singură persoană, ci de un colectiv de specialiști bine formați în acest domeniu.

Intervențiile asupra bunurilor de patrimoniu nu se situează doar la nivel de meșteșug, ci intră în sfera investigațiilor științifice bine elaborate; este vorba de o adevărată artă, ceea ce înseamnă că acestea nu pot fi realizate de începători și de nespecialiști.

Opera de conservare poate fi eficientă numai dacă este organizată și se desfășoară după criterii științifice. Primul criteriu constă în asigurarea unui ansamblu de condiții cât mai apropiate de optimul ecologic impus de bunul material respectiv. Aceasta impune asigurarea conservării pe temeiul cunoașterii cu adevărat științifice a condițiilor de mediu abiotic (climă, temperatură, umiditate, lumină, curenți de aer etc.) și biotic (bacterii, fungi, alge, plante, animale etc.)

Păstrarea originalității, fără adaosuri și eliminări, fără a modifica structura, forma, stilul și maniera specifice epocii în care a fost creat bunul respectiv.

Specializarea personalului de investigație și intervenție reprezintă o constantă; nu se admit experimente sau soluții meșteșugărești, tatonări fără fundamentare științifică.





## Biodeteriorarea patrimoniului

Vizitând marile muzee ale lumii poți vedea „pe viu” unele dintre cele mai mari opere de artă din toate timpurile. Fie că te afli în fața statuii lui Venus din Milo sau a Giocondei, nu poți să nu te întrebi cum arătau acestea în momentul finisării lor. Chiar dacă ai văzut Capela Sixtină înainte și după restaurare poate persista aceeași întrebare: cum arătau picturile în momentul vernisajului? Ne punem astfel de întrebări deoarece conștientizăm că timpul își pune amprenta asupra operelor de artă. Asemenea tuturor lucrurilor și acestea sunt supuse marelui circuit natural bio-geo-chimic. Păstrarea operelor de artă în tezaurul umanității se datorează în mare măsură priceperii și măiestriei conservatorilor operelor de artă. Amprenta timpului asupra unor opere de artă poate fi recunoscută în fenomenul pe care îl numim **patina timpului**. Aceasta conferă adesea o „noblețe” a bunurilor de patrimoniu.

Timpul își poate pune amprenta asupra operelor de artă în mod diferit: aceasta se poate manifesta sub forma de alterări, degradări și deteriorări, față de care **patina timpului**, sau **patina biologică, biopatina** pare a fi un moft (chiar dacă modifică mult cromatica operei de artă).

Patina biologică, despre care am mai discutat, este pusă în relație directă cu fenomenul de îmbătrânire. Nuanțăm aici ceea ce numim adesea drept „patina nobilă”, adică îmbătrânirea frumoasă a operei de artă.

Krumbein (1979) elucidează conținutul noțiunilor **alterare, deteriorare, degradare și patină**.<sup>1</sup>

Prin **alterare** trebuie să înțelegem o modificare care schimbă sensul, destinația sau valoarea unui obiect. Procesul de alterare a fost multă vreme considerat ca fiind rezultatul acțiunii unor factori fizici

---

<sup>1</sup> Krumbein W.E, 1979, *Phototropic and chemoorganotrophic activity of bacteria and algae as related to beachrock formation and degradation (Gulf of Anglia, Sinai)*, Geomicrobial. J., 1:139-203.

și chimici nocivi, factorii biologici nefiind luați în seamă. Astăzi accentul se pune mai mult pe procesele biochimice și biologice.

**Deteriorarea** presupune o pierdere mai accentuată a calităților fizice ale obiectului de artă, care îl fac inutilizabil.

**Degradarea** unui obiect de artă presupune o deteriorare mult mai avansată, cu pierderea atât a integrității fizice cât și chimice.

**Patina biologică** sau **biopatina** sau simplu, **patina** prezintă o puternică încărcătură biologică. Patina presupune atât un proces de îmbătrânire, cât și de deteriorare. Așa cum am precizat anterior, patina reprezintă o peliculă fină de microorganisme (un film biologic, sau biofilm), care acționează ca un complex biocenotic asupra substratului (care reprezintă un biotop) producând unele modificări fizico-chimice. Biopatina reprezintă un complex de bioskene care funcționează ca un tot unitar.

Procesul de biodeteriorare se manifestă, în diferite feluri, în funcție de agenții biodeterioratori care îl generează. Îți poți da seama ușor de atacul unor insecte xilofage atunci când constăți prezența orificiilor de eclozare a adulților, iar în cazul unui atac activ și în funcție de rumegușul care se scurge prin aceste orificii. Nu este greu să constăți că o carte a suferit un proces de biodeteriorare atunci când observi prezența unor pete de culoare neregulate, circulare, roșcate, ruginii sau cu reflexe metalice, care pot fi provocate de diferite specii de fungi sau de bacterii. De asemenea, poți descoperi unele pete brune, catifelate, albicioase sau negricioase, cu aglomerări punctiforme mai închise sau decolorări ale pigmentilor pe stratul pictural al unor tablouri sau icoane, provocate de unele mucegaiuri. Țesăturile pot prezenta, de asemenea, unele modificări cromatice și o pierdere a rezistenței mecanice, care se pot datora unor specii de bacterii. Atât pielea, cât și pergamentul suferă modificări cromatice și pierderea rezistenței mecanice ca urmare a atacului unor microorganisme.

Prezența unui atac poate fi constatată de oricine, nu numai de către specialiștii din domeniul conservării operelor de artă, însă problema esențială este aceea de a identifica agenții biodeterioratori, pentru a putea interveni în mod științific și eficient în stoparea

atacului și aplicarea metodelor corespunzătoare de conservare. Aceasta presupune cunoaștere specifică și abilități practice. Nu este ușor să identifici și să diferențiezi un atac bacterian de unul fungic și este, adesea, destul de greu să identifici specia care a provocat semnele atacului, însă identificarea speciilor biodeterioratoare reprezintă o condiție esențială în conservarea bunurilor de patrimoniu.

Pentru identificarea speciilor biodeterioratoare este necesar să folosim lupa, microscopul optic, și chiar microscopul electronic cu baleiaj. De cele mai multe ori nu putem lua eșantioane din unele bunuri de patrimoniu pentru a le cerceta; pot fi, totuși, realizate preparate microscopice; specialistul în conservarea bunurilor de patrimoniu poate realiza astfel de preparate fără a afecta obiectul de artă.

Adesea o deteriorare microbiologică poate fi ușor confundată cu unele alterări fizice sau chimice ale unor obiecte, mai ales în cazul celor care sunt formate din piatră, ceramică, sticlă, marmură etc. Din această cauză un examen microscopic este necesar. Fiind vorba de atacul unor microorganisme se impune, adesea să se procedeze la realizarea unor medii de cultură pentru a putea determina cu precizie specia dăunătoare.

În cazul materialelor de natură organică atacul microbiologic este mai ușor de recunoscut; în cazul materialelor de natură anorganică este mai greu de stabilit natura atacului. Patinele și eflorescențele par a avea cauze fizice și chimice. Doar un specialist bine format poate pune un diagnostic corect. Este ușor să recunoști atacul unor mucegaiuri, care sunt de suprafață și au coloniile bine delimitate pe substrat. Este însă mai greu să descoperi atacul putregaiului alb sau brun într-un lemn. Așa cum un măr poate arăta perfect la exterior, însă să fie putred la interior, la fel se poate întâmpla și cu unele obiecte de patrimoniu. Pentru descoperirea atacului este necesar să se facă investigații de tip special.

În ceea ce privește coroziunea metalelor, abia în ultimul secol s-a demonstrat, cu argumente științifice, că alături de factorii fizico-chimici acționează și unii factori biologici (microorganisme). Același

lucru s-a petrecut și în ceea ce privește degradarea unor roci. S-a dovedit că bacteriile sulfoxidante și nitrobacteriile provoacă deteriorarea unor roci (exfoliere, măcinare, pulverizare etc.).

Chiar dacă un atac biologic este greu de identificat, în zilele noastre o analiză biologică a unui obiect deteriorat devine obligatorie.

Recunoașterea unui atac biotic impune urmărirea mai multor factori.

Krumbein (1979) ne învață că prin acțiunea lor agenții biodeterioratori pot provoca diferite tipuri de modificări:

- biofizice;
- biochimice;
- biopatină;
- modificări cromatice;
- impurificări.

Modificările biofizice depind atât de natura substratului cât și de agentul biodeteriorator; exfolieri ale peliculelor picturale, bășicarea lor, friabilitatea hârtiei, decolorarea sau pătarea țesăturilor, orificii și galerii în lemn, care pot ajunge până la apariția unui aspect spongios al acestuia. Cu regret trebuie să spunem, am găsit în foarte multe biserici atacuri ale insectelor xilofage care au degradat lemnul până la căpătarea unui aspect spongios.

Rocile pot suferi fisurări, exfolieri, măcinări și chiar apariția de cruste la atacul unor bacterii. Măcinarea rocilor poate avea loc și sub acțiunea exclusivă a factorilor fizico-chimici; trebuie însă să asociem și factorii biologici.

Atacul bacteriilor și al ciupercilor asupra hârtiei afectează structura mecanică a acesteia și conduce la transformarea într-un material păslos, foarte fragil.

Lemnul atacat de *Merulius (Serpula) lacrymans* se recunoaște cu ușurință după putregaiul cubic pe care îl formează și după aspectul sfărâmișos al lemnului.

Modificările biochimice afectează mult structura substratului, provocând apariția unor efecte fizice. În situația în care substratul are și funcție nutritivă atunci acesta este folosit în procesul de asimilație,



fiind convertit în biomasă microbiană, cu elaborare de H<sub>2</sub>O și CO<sub>2</sub>. Este vorba de o degradare enzimatică a substratului, așa cum se întâmplă în cazul atacului provocat de bacterii și fungi. Prin degradarea celulozei, hemicelulozei și a ligninei are loc mobilizarea produșilor rezultați și scăderea rezistenței fizico-mecanice a substratului, asociată cu fărâmițarea acestuia.

Leziunile provocate de procesul de dezasimilație al unor agenți biodeterioratori sunt determinate de eliminarea unor produși de metabolism care provoacă scăderea rezistenței mecanice a substratului. Este vorba de acțiunea unor exoenzime și exopigmenți.

În mod obișnuit cele două procese, asimilația și dezasimilația, se desfășoară simultan. Atacul microbiologic determină decolorări și apariția de pete de culori diferite, în funcție de agenții biodeterioratori care acționează (bacterii, ciuperci) și de natura substratului.

Hârtia supusă unui atac microbiologic își pierde rezistența, capătă un aspect scămos și prezintă pete divers colorate. Pielea și pergamentul își pierd elasticitatea și rezistența mecanică.

Krumbein (1979) ne prezintă unele detalii privind petele provocate de unele specii de fungi hârtiei. Astfel:

- *Aspergillus versicolor* provoacă pete cu fructificații galbene și cu aspect pufos;
- *Aspergillus fumigatus* – pete de culoare verde închis și miceliu cu fructificații abundente;
- *Penicillium chrysogenum* – pete de culoare verde brun, sub formă de pulbere;
- *Trichoderma viridis* – pete de culoare verde cu aspect pufos.

Petele fungice sunt circulare sau neregulate, în funcție de centrul de formare; pot prezenta unele cristale de calciu, sau pot avea aspect metalic, cu procese de coroziune.

Lemnul supus atacului microbiologic poate prezenta modificări structurale și de culoare: pierderea rezistenței mecanice, fracturi, pete de diferite culori; în funcție de agenții biodeterioratori

care acționează. La atacul ciupercilor lemnul se descompune formând un putregai care se manifestă în mod diferit.

Stratul pictural al tablourilor și al icoanelor poate suferi degradări de naturi diferite, în funcție de speciile de fungi care acționează și de natura pigmentilor.

Fresca atacată de fungi poate deveni ștearsă, cu aspect prăfuit sau poate căpăta o patină incoloră și strălucitoare, sau formează pete de culori, mărimi și forme diferite.

- *Acrimonium roseum* provoacă apariția de pete neregulate, albe cu nuanțe de roz și cu creșteri miceliene abundente;
- *Acrimonium roseum* asociat cu *Penicillium chrysogenum* formează pete albicioase, sub formă de picături în condens, care picurează;
- *Alternaria alternata* și *Phoma pigmentivora* produc pete negricioase cu aglomerări brun-negre punctiforme;
- *Cladosporium herbarum* și *Chaetomium globosum* formează decolorări de diferite tipuri.

Atacul bacteriilor asupra țesăturilor de natură animală determină modificări de culoare și scăderea rezistenței; mătasea devine fragilă.

Conservarea bunurilor de patrimoniu începe să se cristalizeze ca o știință care se opune principiului circuitului bio-geo-chimic din natură. Existența vieții pe Terra nu ar fi posibilă fără desfășurarea firească a acestui circuit, căruia îi este supusă și specia umană. Să ne imaginăm ce s-ar întâmpla dacă în natură plantele care mor nu ar intra în circuitul bio-geo-chimic, ci ar rămâne să acopere solul de-a lungul anilor. După mai multe generații nu ar mai fi posibilă viața deoarece plantele nu ar mai găsi spațiul necesar pentru existența lor. Acest lucru nu se întâmplă deoarece substanțele organice sunt biodegradabile, ceea ce înseamnă că se descompun și intră în marele circuit bio-geo-chimic. Acestui circuit îi sunt supuse și substanțele minerale. Nisipurile de pe plajele mărilor și oceanelor și din pustii lumii nu reprezintă altceva decât roci intrate în acest mare circuit. Am tinde să credem că aici n-ar fi vorba de un circuit bio-geo-chimic, ci doar unul geochimic. Ar fi o mare greșeală să gândim

astfel deoarece am scoate din marele circuit al naturii agenții biodeterioratori care afectează rocile.

Deci, prin conservarea bunurilor de patrimoniu încercăm să scoatem aceste bunuri din marele circuit bio-geo-chimic. Cât timp vom putea realiza conservarea unui bun de patrimoniu? Care ar fi cele mai vechi opere de artă care au supraviețuit timpului?

Probabil că cele mai vechi sunt picturile murale din unele peșteri, care pot avea 30.000-35.000 de ani. Pare incredibilă păstrarea nealterată a acestor opere de artă ale umanității, cu atât mai mult cu cât și-au păstrat prospețimea. Și-au putut păstra prospețimea deoarece nu au fost supuse unor factori deterioratori abiotici și biotici. Condițiile de mediu au fost cvasistaționare, fiind protejate de:

- un mediu ambiant stabil;
- formarea unor patine de protecție;
- lipsa luminii;
- lipsa curenților de aer.

Putem considera că variația condițiilor de mediu (temperatură, umiditate, curenți de aer) a avut amplitudini foarte mici. Tindem să credem că pe lângă stabilitatea mediului patina biologică a avut un rol esențial de protecție.

Patina biologică reprezintă un sistem biologic spațiu-timp ce funcționează ca o unitate, cu o integralitate proprie. Dacă relațiile spațiu-timp fizice pot fi reversibile, relațiile spațiu-timp biologice sunt ireversibile, deoarece au o evoluție mai mult sau mai puțin liniară, fără reveniri ciclice.

Dornieden et al. (1997) au făcut cercetări la mai multe monumente din Grecia, Israel, Austria și Crimeea urmărind unele picturi murale și diferite monumente din marmură. Ca o notă comună, toate picturile erau acoperite de o biopatină de tip spațiu-timp; o structură de tip: atmosferă – biofilm - substrat. Astfel de structuri au fost cercetate la microscopul electronic. Fiind vorba de biofilme care se formează la contactul cu atmosfera acestea se mai numesc biofilme subaerene. Microorganismele din aceste biofilme au ca sursă de nutrienți atât din substrat (piatra sau marmura) cât și din atmosferă, mai ales atunci când aceasta este poluată.

În cazul picturilor sursa nutritivă o reprezintă mai ales substratul pictural; dar și atmosfera poluată sau încărcată cu praf.

Interacțiunile dintre speciile care formează patina îi asigură acesteia funcționalitatea, integralitatea și stabilitatea. Formarea biofilmelor atât pe marmură cât și pe stratul pictural determină modificări biogene majore. În structura lor înțră bacterii și fungi. Speciile de micromicete diferă în biofilmele de pe marmură față de cele fixate pe un substrat pictural. Pe marmură se fixează, în prima etapă, unii fungi din sol. Sporii acestora germinează și își întind hifele în neregularitățile marmurei. Miceliile fixate rezistă la secetă și la temperaturi ridicate. Are loc o selecție naturală între speciile de microfungi rămânând în structura biofilmelor doar speciile mai rezistente, care stabilesc interrelații avantajoase cu celelalte specii. Se formează astfel bioskene caracteristice, care ocupă anumite nișe spațiale. Treptat sunt selectate speciile care sunt tolerante la factorii de stres. Alături de microfungi se stabilesc și unele bacterii, alge verzi și cianobacterii. Unele dintre speciile fixate prezintă pigmenți, care le conferă rezistență la temperaturi ridicate și la radiații ultraviolete.

Dacă în momentul formării filmului biologic aportul de nutrienți se realizează mai greu, după consolidarea acestuia, prin moartea unor indivizi, se asigură un stoc de hrană organică ce poate fi valorificat de organismele heterotrofe. Uneori filmul biologic este vizitat de unele insecte. Prin moartea unor insecte se acumulează anumite cantități de chitină, care devin sursă de hrană pentru *fungii chitinolitici*.

Fungii și bacteriile din structura filmului biologic determină deteriorarea atât a marmurei, cât și a substratului pictural. Biofilmul exercită o presiune asupra substratului prin pătrunderea hifelor în fisurile existente sau nou formate. Dislocarea substratului se datorează în cea mai mare parte presiunii exercitate de miceliile turgescențe.

După cum ne prezintă Dornieden et al. (1997) presiunea exercitată de miceliile fungice poate ajunge până la 12,39 bari, ceea

ce reprezintă o forță considerabilă. Astfel ne putem explica procesul de biodegradare a marmurei și a substratului pictural.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Dornieden, Th., Gorbushina, A.A., Krumbein, W.E., 1997, *Changes of the physical Buildings*, 3: 441-456.



## **Biodegradarea ca fenomen natural**

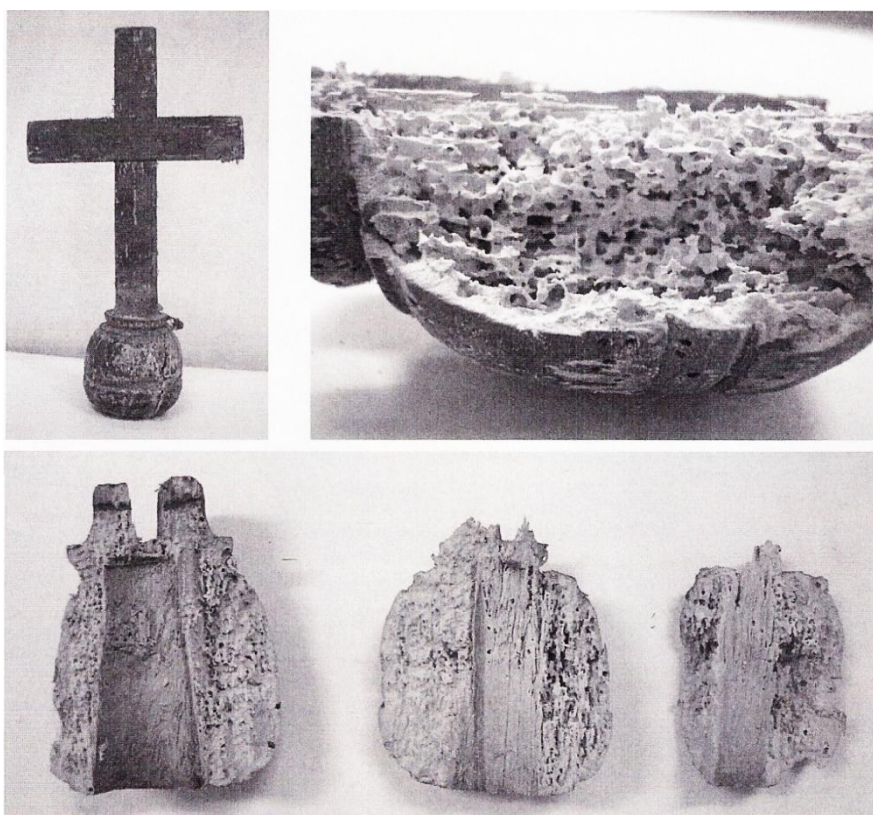
Desigur că degradarea și deteriorarea bunurilor de patrimoniu sunt determinate de o multitudine de factori. Nu punem în discuție provocarea acestora în mod intenționat sau neintenționat de către oameni (răufăcători, nepricepuți sau rău intenționați). Aceste fenomene se manifestă în mod natural sub acțiunea factorilor abiotici și biotici. În natură funcționează o lege generală, care asigură un circuit bio-geo-chimic al materiei, despre care vom mai atrage atenția acolo unde este necesar.

În activitatea de conservare a bunurilor de patrimoniu specialiștii nu încearcă altceva decât să întârzie cât mai mult realizarea procesului bio-geo-chimic, astfel încât acestea să poată rezista în timp.

Pe lângă un complex de factori abiotici asupra bunurilor de patrimoniu acționează o multitudine de agenți biodeterioratori (bacterii, ciuperci, insecte, rozătoare, alge, licheni etc.) care descompun și pun în circuitul bio-geo-chimic substratul asupra căruia acționează. În mod special microbiota heterotrofă provoacă descompunerea substanțelor organice, cu efecte distructive.

Procesul de biodegradare se realizează în mod diferit, în funcție de substratul material al bunurilor de patrimoniu și de agenții biodeterioratori care acționează. Lemnul poate fi biodegradat prin acțiunea bacteriilor și a fungilor, în condiții anumite de umiditate și de temperatură, dar și prin acțiunea carilor care consumă lemnul făcând galerii mai mari sau mai mici, atacul mergând până la distrugerea totală a lemnului atacat, până la căpătarea unei structuri spongioase (fig.1).

Astfel de atacuri se pot desfășura în mod separat, se pot asocia, sau suprapune. Insectele xilofage preferă lemnul atacat de ciuperci, care provoacă descompunerea celulozei (având acțiune celulozolică, asemenea unor bacterii și chiar a unor protozoare).



**Fig. 1.** Epuizarea lemnului de tei de către larvele de *Anobium punctatum* (după Moșneagu Mina, 2009)

Specialiștii au descoperit o anumită eșalonare a atacurilor agenților biodeterioratori, o anumită succesiune, în care unii agenți biodeterioratori par a pregăti atacul celorlalte eșaloane.

Bunurile de patrimoniu de natură organică (lemn, hârtie, piele, textile etc.) pot fi supuse atacului microorganismelor heterotrofe, capabile de degradare enzimatică a substanțelor organice. Bunurile de patrimoniu de natură anorganică (piatră, marmură, sticlă, metal etc.) sunt supuse atacului microorganismelor autotrofe (chemosintetizante și chiar fotosintetizante). Corodarea metalelor nu este provocată doar de factorii fizici și chimici, cum multă vreme s-a crezut, ci și de agenții biologici specializați.



Agenții biodeterioratori acționează doar în mediile în care întâlnesc condiții optime de temperatură, umiditate, pH, curenți de aer, lumină sau întuneric etc.

În funcție de pH pe bunurile de patrimoniu se pot instala și dezvolta microbiote acidofile sau bazofile. După cum vom vedea, microbiotele se pot lipi de substrat și pot rămâne un timp nedefinit, însă activarea acestora nu se realizează decât în condiții optime. De altfel, pe suprafața obiectelor de patrimoniu se formează o peliculă vie, formată din diferite specii de microorganisme, care reprezintă ceea ce numim un **film biologic** (biofilm, patină sau biopatină). După cum vom vedea, biopatina poate determina apariția unor procese de biodegradare a substratului, însă, în anumite perioade poate avea chiar un rol de protecție a acestuia împotriva fixării și germinării unor specii mai periculoase.

Umiditatea reprezintă un factor deosebit de important în ceea ce privește procesul de biodeteriorare, pe de o parte și realizarea conservării bunurilor de patrimoniu, pe de altă parte. Când vorbim de umiditate ne referim la umiditatea relativă a aerului (U.R.), dar și la umiditatea substratului; aceasta depinde mult de higroscopicitatea materialelor, în funcție de care conținutul de apă variază. Totdeauna U.R. se asociază cu temperatura; acești factori fizici sunt deosebit de importanți în înțelegerea proceselor de biodeteriorare.

Bacteriile și funghi se răspândesc în natură prin spori; aceștia rezistă la acțiunea factorilor extremi de mediu grație unor structuri speciale de rezistență; în anumite condiții pot intra în stare de **anabioză** (având reduse la minimum procesele metabolice). Sporii bacteriilor și fungilor sunt transportați de curenții de aer împreună cu diferite impurități de natură anorganică sau organică (substanțe organice particulare moarte).

Trebuie să înțelegem că noi nu putem asigura într-un muzeu un mediu lipsit de spori și de impurități materiale organice sau anorganice. Acestea se depun pe diferite substraturi realizând un fel de însămânțare cu agenți biodeterioratori (microorganisme). Aceste depuneri sunt potențial dăunătoare; în condiții de mediu optime sporii putându-se activa și relua procesul de creștere și dezvoltare.

Alterarea bunurilor de patrimoniu se poate datora unor procese fizice, chimice și biologice exercitate de agenți biodeterioratori.

Din momentul în care agenții biodeterioratori fixați pe obiectele de patrimoniu încep să reîntre în activitate pot provoca distrugerii acestora ca urmare a anumitor mecanisme. Înmulțindu-se agenții biodeterioratori exercită unele presiuni asupra substratului; microorganismele pot fi localizate în unele neregularități, fisuri sau orificii ale acestuia. Celulele microorganismelor exercită presiuni asupra substratului provocând desprinderea anumitor porțiuni. Astfel, hifele unor fungi determină, în extinderea lor, desprinderea anumitor porțiuni de substrat. Hifele fungilor se pot strecura între stratul pictural și pânză, care servește de suport, provocând, de cele mai multe ori, distrugerea substratului pictural (fărâmițarea unor porțiuni).

În cazul atacului unor insecte xilofage în icoane de lemn apar o serie de presiuni asupra substratului pictural. Aceste insecte pot forma multiple galerii în lemn, orificii de eclozare a adulților etc., ceea ce provoacă un proces de deteriorare a substratului pictural. De altfel, chiar în cazul unor obiecte arheologice scufundate în apă s-a constatat efectul biodeteriorator al unor specii xilofage.

Pearson (1987) atrage atenția asupra atacului lui *Teredo navalis* (viermele corăbiilor, o bivalvă din familia Teredinidae) și a crustaceului *Limneria* care sunt specii xilofage.<sup>3</sup>

Chiar unele monumente de piatră sau din marmură sunt preferate de unele moluște litofage, cum ar fi *Petricola lithophaga*.

Pe zidurile cu umiditate ridicată, pe unele statui și pe diferite monumente plasate în natură, de asemenea cu umiditate ridicată, cel puțin la bază, se fixează un film biologic care determină un proces de biodeteriorare. Multe specii de cianoficee se fixează cu ajutorul unor teci proteinice adezive sau cu ajutorul unor pili (în cazul bacteriilor). Pe acest film se pot fixa unele specii de fungi, care își introduc hifele

---

<sup>3</sup> Pearson, C. 1987, *Conservation of Marine Archaeological Objects*, Butterworths, London.

în neregularitățile substratului. Terenul fiind oarecum pregătit se pot instala și diferite specii de licheni, de mușchi și de plante superioare, care își introduc rădăcinile în fisurile deja formate ale substratului.

Se trece astfel de la acea peliculă biologică numită biofilm, la ceea ce numim bioderma vegetală, care are o structură specifică, destul de variată.

În categoria mecanismelor fizice putem include și vandalismele provocate de diferite persoane răuvoitoare sau lipsite complet de educație.

Nu poți să-ți stăpânești mânia și dezgustul atunci când, intrând în pridvorul Mănăstirii Sucevița vezi semnăturile gravate în frescă, a unor așa-ziși „oameni”.

### **Procesele chimice**

Activitatea chimică a unor organisme provoacă apariția unui proces de descompunere și transformare a substratului oferit de unele obiecte de patrimoniu.

Caneva et al. (1997) arată că organismele care se fixează pe obiectele de patrimoniu pot determina, prin procese de asimilație și dezasimilație, multiple neajunsuri acestora.<sup>4</sup> Așa cum am prezentat în paginile anterioare, multe microorganisme se pot fixa, împreună cu praful pe obiectele de patrimoniu. Între acestea se pot găsi și numeroase specii de bacterii chemoautotrofe.

Louis Pasteur considera că „*Fără microbi, viața ar deveni imposibilă, pentru că acțiunea morții ar fi incompletă*”.

Sub o altă formulare Hutchinson (1970) vrea să ne convingă că: „*Pentru ca biosfera să-și continue existența normală este necesar ca materialele importante din punct de vedere biologic să sufere modificări ciclice, în așa fel, încât, după ce au fost utilizate, să se reîntoarcă cu un anumit consum de energie solară, într-o formă în care pot fi reutilizate.*”<sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> Caneva G., Nugari M.P., Salvadori O., 1997, *La biologia nel restauro*, Nardini Editore.

<sup>5</sup> Hutchinson G.E., 1970, *The Biosphere*, Amer. Sci., 61:269-279.

Este vorba tocmai de ceea ce numim marele circuit bio-geo-chimic din natură. Bacteriile proteolitice descompun proteinele la  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_2$  și  $\text{H}_2\text{S}$ .

Circulația biologică a azotului se realizează sub acțiunea bacteriilor (peste 100 de genuri). Sub acțiunea lor azotul atmosferic ( $\text{N}_2$ ) este convertit în forme fixe ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2$ ), care sunt folosite de plante și animale și fixate în structuri organice. După moartea organismelor compușii organici ai azotului sunt mineralizați și restituiți naturii.

Circuitul azotului în natură se utilizează prin 4 procese:

- fixarea azotului molecular;
- amonificarea;
- nitrificarea;
- denitrificarea.

Aceste procese sunt mediate de bacterii.

Bacteriile chemotrofe sunt fixatoare de azot. Sunt peste 250 de genuri de bacterii chemotrofe capabile să fixeze azotul atmosferic; între acestea cităm doar: *Azotobacter*, *Enterobacter*, *Clostridium*, *Anabaena*, *Nostoc*, *Spirulina*, *Rhizobium*, *Frankia* etc.

### **Amonificarea**

Azotul organic din sol, provenit din descompunerea organismelor moarte este mineralizat pentru a asigura conversia acestuia la forme anorganice, care pot fi apoi utilizate de plante și microorganisme. Acesta este un proces de amonificare, ce se petrece în două etape succesive:

- **etapa nespecifică**, de proteoliză, care se desfășoară sub acțiunea unor bacterii heterotrofe cum ar fi specii de: *Pseudomonas*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Clostridium* și fungi: *Aspergillus*, *Mucor*, *Alternaria*, *Rhizopus* (Zarnea, 1994).

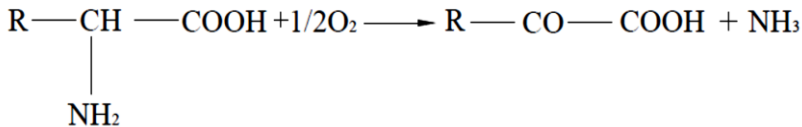
Prin acțiunea acestor microorganisme substanțele proteice sunt hidrolizate la moleculele simple, care pot fi utilizate de unele microorganisme și descompuse mai departe.

- **etapa specifică** este realizată de microorganismele din sol care continuă degradarea compușilor pe bază de azot conducând la

formarea de uree, acid uric, glucide animale, care sunt apoi convertite în NH<sub>3</sub>.

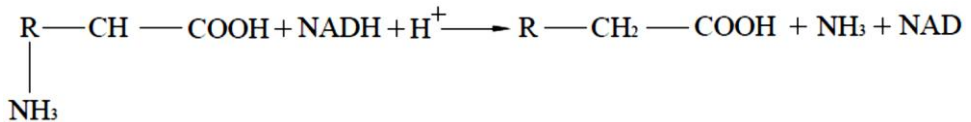
Prin amonificare înțelegem procesul de eliberare de NH<sub>3</sub> sub acțiunea microorganismelor.

*Pseudomonas aeruginosa*, *Proteus spp.*, *Escherichia coli*, *Aspergillus niger* etc. realizează procesul de dezaminare cu formare de NH<sub>3</sub> după relația:

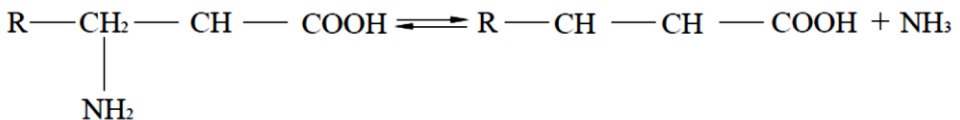


Este o dezaminare reductivă.

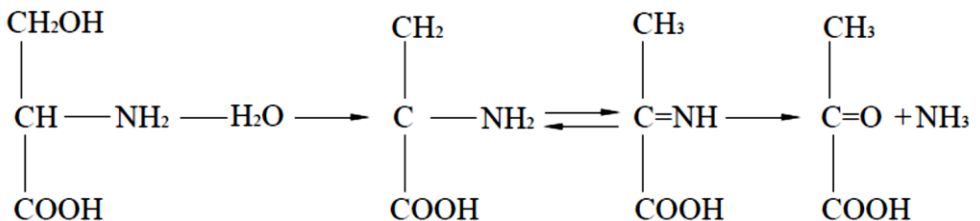
*Clostridium* realizează o dezaminare reductivă după relația:



*Escherichia coli*, *Neurospora* și alte specii realizează o dezaminare desaturantă, după relația:



Există și o altă cale de dezaminare, care poate fi realizată de *Neurospora crassa* și *Escherichia coli*; este vorba de dezaminare realizată prin deshidratare:



Nu prezentăm aceste modalități de realizare a procesului de dezaminare pentru a încărcă memoria sau pentru a impresiona pe cititori; dorim să nuanțăm cât de multe căi pot fi urmate în acest proces. Mai mult, am putea sesiza că una și aceeași specie poate urma toate aceste căi; desigur că în funcție de condițiile oferite de mediu.

În felul acesta putem înțelege că procesul de amonificare reprezintă o etapă indispensabilă a circulației azotului în natură (Zarnea, 1994).

**Nitrificarea** reprezintă procesul prin care  $\text{NH}_3$  este oxidat la nitrați, care reprezintă compușii azotați cei mai ușor de asimilat de plante.

Desigur că nitrificarea este realizată tot de microorganisme. Cele mai cunoscute sunt speciile: *Nitrosomonas europaea*, *Nitrosococcus nitrosus*, *N. mobilis*, *Nitrospira briensis*, *Nitrosovibrio tenuis* etc.

Denitrificarea este un proces biologic realizat de bacterii care constă în reducerea dezasimilatorie a oxizilor azotului ( $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) la oxizi gazoși, cum ar fi  $\text{NO}$  sau  $\text{N}_2\text{O}$ , care pot fi reduși în continuare la azot molecular ( $\text{N}_2$ ).

Denitrificarea poate fi realizată de o multitudine de specii de bacterii: *Alcaligenes eutrophus*, *Bacillus azotoformans*, *Chromobacterium violaceum*, *Neisseria sicca*, *Pseudomonas aeruginosa*, *P. denitrificans* etc.

Biodegradarea ca proces biologic are rol pozitiv în natură determinând descompunerea substanțelor organice și intrarea lor în marele circuit bio-geo-chimic. În situația în care acest proces este orientat către bunurile de patrimoniu devine negativ și ne ridică o serie de probleme în conservarea acestora. Hârtia care poluează solul poate fi degradată de *Chaetomium globosum*, ceea ce reprezintă un câștig pentru natură. În situația în care hârtia este atacată de aceeași specie, *Chaetomium globosum*, în depozite sau în cărți are un rol extrem de negativ.

Biodegradarea cauciucului de către unele bacterii cromogene poate provoca mari neajunsuri atunci când cauciucul intră în

structura unor obiecte de patrimoniu. Dintre cele mai frecvente specii care provoacă biodeteriorarea cauciucului menționăm: *Actinomyces fuscus*, *A. chromogenes*, *Micrococcus prodigosus*, *Mycobacterium rubrum*, *Pseudomonas fluorescens*, dintre bacterii, dar și unele specii de fungi din genurile *Aspergillus*, *Penicillium* etc.

Alterarea microbiană a sticlei a fost recunoscută în ultimele decenii ale secolului al XX-lea. Multă vreme alterarea sticlei era explicată doar prin procese fizice și chimice. Numeroase specii de ***Phycomycetes***, ***Ascomycetes*** și Fungi Imperfecți produc leziuni importante suprafețelor de sticlă. Între genurile cele mai comune: *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria*, *Cladosporium*, *Pullularia*, *Monilia* etc.

Așa cum vom vedea în paginile următoare ale acestei cărți, degradarea rocilor sub acțiunea microorganismelor reprezintă un proces comun.

Sunt nenumărate specii de bacterii și fungi care determină biodeteriorarea rocilor. Bacteriile chimiolitotrofe determină deteriorarea rocilor ca urmare a acizilor organici pe care îi produc: *Thiobacillus ferrooxidans*, *Desulfovibrio* etc.

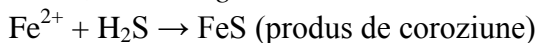
Dintre fungii care determină biodeteriorarea rocilor menționăm: *Cephalosporium*, *Botrytis*, *Margarinomyces*, *Monilia*, *Pullularia*, *Trichoderma* etc.

Coroziunea bacteriană a metalelor este frecventă; conductele de apă, instalațiile sanitare, conductele de gaze și petrol pot suferi coroziuni adânci, ce pot determina chiar perforarea acestora. De altfel, la suprafața metalelor totdeauna se formează o biopatină, care reprezintă un film biologic.

Coroziunea bacteriană anaerobă a fierului și a oțelului a fost elucidată, fiind formulată teoria depolarizării catodice de către Kühr și van der Yengt (1934). Coroziunea este asociată cu modificări localizate și apariția unui produs de culoare neagră, fenomenul fiind cunoscut sub numele de grafitizare (Zarnea, 1994).

În medii umede la suprafața metalului se formează unele sisteme electrochimice, ale căror elemente catodice sunt polarizate de hidrogen. În procesul de coroziune un rol important îl au unele

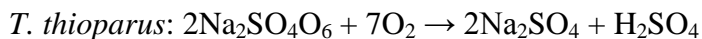
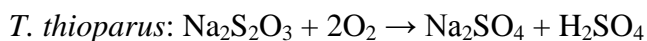
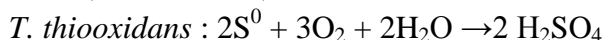
bacterii sulfat-reducătoare cum ar fi: *Desulfovibrio vulgaris*, *D. desulfuricans*, *D. salexigens* etc.



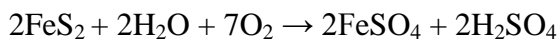
Reacția globală s-ar desfășura după relația:



Coroziunea oxidativă are ca substrat producerea de către bacterii a unor metaboliți corozivi (acizi organici și chiar minerali); este vorba de o coroziune acidă realizată de diferite specii de *Thiobacillus* (Zarnea, 1994):



*Thiobacillus ferrooxidans* atacă pirita și obține energie, după reacția:



Astfel fierul feric se obține din fierul feros:  $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{e}^-$

Coroziunea oxidativă provoacă degradarea unor exponate mineralogice și paleontologice din muzee.

Coroziunea obiectelor de artă este provocată de *Flavobacterium hydrophyllum*.

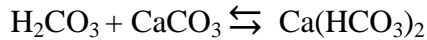
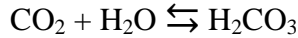
**Mecanismele chimice** pot contribui la descompunerea sau la transformarea substratului oferit de obiectele de patrimoniu. Unele dintre microorganismele fixate pe obiectele de patrimoniu pot folosi substratul respectiv ca sursă de carbon și de energie. Unele utilizează diferite substanțe de excreție pentru a perfora substratul nutritiv; astfel de microorganisme sunt numite endolitice.

Caneva et al. (1997) prezintă diferite mecanisme prin care microorganismele atacă substratul: acidoliză, complexoliză, alcalinoliză, schimbul de ioni, degradarea enzimatică și secreția și eliminarea de pigmenți.

Așa cum am mai precizat, unele microorganisme au capacitatea de a sintetiza și elimina diferiți acizi anorganici (carbonici, sulfurici, azotici etc.) sau/și organici (formic, butiric, lactic, succinic etc.). Acești acizi acționează asupra substratului nutritiv provocând descompunerea acestuia.



În procesul de respirație se eliberează în mediu CO<sub>2</sub>, care unindu-se cu apa conduce la formarea acidului carbonic. Acidul carbonic atacă rocile care conțin carbonat de calciu sau structurile organice și conduce la formarea bicarbonatului de calciu.



**Fenomenul de complexoliză** este întâlnit la tot pasul în procesele de biodeteriorare a bunurilor de patrimoniu. Formarea de structuri complexe este asigurată de particularitățile configurației stereochemice, ce permit legarea unui atom de hidrogen sau a unui metal cu doi atomi de la aceeași moleculă. Pentru formarea unui complex stabil ionii metalici centrali se asociază cu o bază organică polifuncțională. Fenomenul de complexoliză este influențat de o serie de factori (Caneva et al., 1997):

- forța bazică a grupului chelant (de legătură);
- electronegativitatea atomilor donatori ai grupului bazic în agent chelant;
- caracteristicile ionului metalic;
- rezonanța.

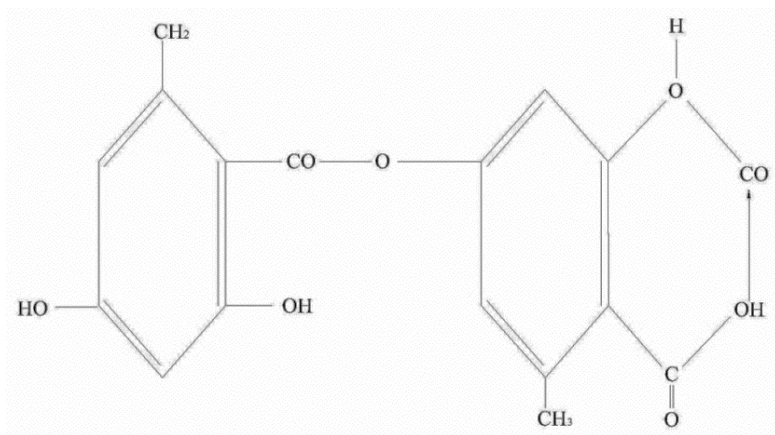
Mulți compuși organici produși de microorganisme pot complexa sau chila ionii metalici din substrat. Astfel unii acizi organici simpli (oxalic, citric, salicilic, fumaric) mai mult sau mai puțin activi în solubilizarea metalelor acționează în funcție de capacitatea chilantă a moleculei.

Acidul oxalic este un agent puternic și complex, fiind produs de unele specii de fungi, de licheni și chiar de plante.

### **Alcalinoliza**

Multe microorganisme produc și eliberează în procesele metabolice unii compuși bazici, cum ar fi amoniacul și carbonatul de sodiu prin degradarea unor substanțe proteice. Aceste substanțe trecând în substrat pot genera efecte de disoluție. În funcție de pH

vor fi favorizate unele microorganisme bazofile în creșterea și dezvoltarea lor.



**Fig. 2.** Chelarea calciului realizată de acidul lecanoric produs de licheni.

## Microclimat și microhabitate

Muzeele sunt instituții în care se realizează conservarea și expunerea pentru public a unor obiecte de patrimoniu. Aceste obiecte pot fi extrem de diferite, în funcție de materialele din care sunt alcătuite (metale, minerale, sticlă, marmură, fildeș, fibre vegetale și animale, lemn, hârtie, papirus etc.). Oricât de bine ar fi întreținute bunurile de patrimoniu ele sunt însoțite de un complex de microorganisme, care se depun pe ele, împreună cu praful, formând un film biologic (biofilm), sau patină biologică. Acestea reprezintă ecosisteme microbiologice sau/și microbiologice, în cazul unor insecte xilofage care atacă lemnul, cartea, produsele din celuloză etc. În aceste ecosisteme pretențiile de viață ale componentei vii (biocenozei) pot fi foarte diferite.

Obiectele de patrimoniu etalate sau depozitate în muzee pot ajunge în habitate foarte diferite, în condiții de microclimat particulare, fiind puternic influențate de caracteristicile acestuia. În una și aceeași încăpere de muzeu putem vorbi de existența a nenumărate microhabitate, care oferă condiții de viață foarte diferite.

Prin **microclimat** în muzee înțelegem totalitatea condițiilor de temperatură, umiditate, compoziție a aerului, lumină, radiații electromagnetice, curenți de aer etc.

Microclimatul special din muzee poate fi monitorizat, stabilizat și adaptat condițiilor concrete cerute de imperatiile conservării bunurilor de patrimoniu. Tendința actuală este de a crea un microclimat favorabil și dincolo de spațiul închis al clădirilor.

În mod normal U.R. ar trebui să aibă valori cuprinse între 50-65%. Gradul de umezeală poate constitui o cauză a deteriorării bunurilor de patrimoniu, fie că este vorba de o umiditate prea ridicată, sau de una prea mică. Temperatura trebuie să fie între 18-20 °C, cu 2-3 °C± . Pentru depozite temperatura trebuie să fie mai redusă, între 1-18 °C, însă perfect corelată cu umiditatea.

Lumina solară nu trebuie să cadă direct pe obiectele de patrimoniu deoarece provoacă procese de deteriorare.

Curenții de aer, în spațiile închise trebuie să aibă o viteză sub 0,5 m/sec. În camere închise, în care nu este o circulație mare a persoanelor, se formează curenți de aer datorită diferenței de temperatură care apare între diferite părți ale camerei. Se pot forma curenți de aer între pereți, între pardoseală și tavan și chiar între diferite obiecte confecționate din materiale diferite. Acești curenți antrenează atât particulele de praf cât și „norii” de microorganisme vehiculați dintr-un loc în altul.

Migrarea particulelor de praf în suspensie, ca urmare a curenților de convecție, reprezintă ceea ce numim **termoforeză**. Prin termoforeză praful și microorganismele se depun pe diferite suporturi. În lumina difuză aerul din cameră pare a fi curat, fără praf. În situația în care razele solare pătrund în cameră putem vedea în fasciculele de raze adevărata realitate; aerul este încărcat cu granule de praf de diferite forme și mărimi și cu spori de bacterii, ciuperci, granule de polen etc.

Atmosfera este un mediu favorabil pentru creșterea și multiplicarea microorganismelor; căldura, oxigenul, vaporii de apă, granulele de praf reprezintă un mediu favorabil pentru multe specii de microorganisme. În mod normal microorganismele se găsesc sub formă de spori, care sunt protejați de pereți speciali și de pigmenți împotriva razelor solare.

După cum afirmă P.H. Gregory, citat de G. Zarnea (1999): „*O supă microbială scaldă, la bine și la rău, omul, animalele și recoltele. Compoziția ei este la fel de importantă ca și puritatea apei potabile*”.

A fost introdus conceptul de „**nori**” de microbi, care se găsesc în atmosferă, fiind prezenți și în locuințe. Aceștia pot conține spori de bacterii, fungi, dar și protozoare, alge, grăuncioare de polen etc. Compoziția diferă în funcție de anotimp, de loc și de activitățile umane.

G. Zarnea (1999) afirmă că „norii” microbieni „**de zi**” pot conține spori de *Cladosporium*, de Fungi imperfecti, mucegaiuri etc., iar cei „**de noapte**”, spori de *Sporobolomyces* și *Tilletiopsis*; spori de bacterii sunt omniprezenți. Spori de *Penicillium*, *Monilia sitophila*,

*Rhizopus nigricans*, *Botrytis cinerea*, sunt puși în mișcare și de cei mai lenți curenți de aer. Unele suporturi mai reci din cameră provoacă o depunere mai mare de praf (atrag particulele de praf și sporii din „norii” de microbi).

Posibilitatea de diseminare a sporilor de fungi este uimitoare. Gregory prezintă distanța de deplasare a sporilor de fungi într-o emisie neturbulentă a aerului (tabelul 1).

**Tabelul 1.** Viteza de deplasare a sporilor de fungi când mișcarea aerului este de 1m/sec (după Gregory, citat de Zarnea - 1999 )

<b>Fungi</b>	<b>Înălțimea de la care se produce eliberarea</b>	<b>Distanța de deplasare</b>
<i>Helminthosporium</i>	1 m	50 m
<i>Puccinia</i>	1 m	80 m
<i>Agaricus</i>	5 m	400 m
<i>Lycoperdon</i>	5 m	100 m

Desigur că „norii” de microorganisme din spațiile exterioare pot pătrunde și în clădiri. Aici sunt puși în mișcare de curenții de convecție.

Dacă am înțeles că supa de microorganisme ne însoțește pretutindeni, trebuie să mai înțelegem că pe orice suport material se pot depune mii sau milioane de spori. În situația în care aceștia germinează se poate forma o peliculă vie de microorganisme, pe care o numim film biologic.

Este esențial pentru noi să înțelegem că microorganismele trăiesc în microhabitate (microenviroments). Microhabitatul reprezintă o anumită parte din mediu, caracterizată printr-o oarecare uniformitate (omogenitate) a condițiilor de mediu: temperatură, umiditate, lumina/întuneric, curenți de aer etc.

Pentru o molie care atacă hainele de blană, stofele etc. microhabitatul poate fi asigurat de un dulap în care se găsesc ordonate astfel de obiecte. Pentru bacterii sau pentru fungi microhabitatul optim

poate fi o carte umedă, un obiect de piele umed și adăpostit într-un spațiu închis, la întuneric.

Putem considera că un anumit spațiu prezintă o distribuție discontinuă a micro- și macroorganismelor, ca urmare a existenței unor microhabitate diferite oferite de una și aceeași sală de muzeu sau de depozit pentru bunuri de patrimoniu. În astfel de microhabitate organismele pot forma bioskene funcționale, cu structuri populaționale foarte diferite.

# Temperatura

Temperatura este un factor ecologic foarte important, în funcție de care se desfășoară o serie de procese biologice. Adesea se face confuzia între temperatură și căldură.

Maxwell a stabilit că temperatura este starea termică a unui corp, sau a unui mediu oarecare, care constă în capacitatea acestuia de a iradia căldură.

Când vorbim de temperatură ne referim la intensitatea căldurii, nu la cantitatea de căldură pe care o acumulează corpul sau mediul respectiv (Simionescu Viorica, 1980)<sup>6</sup>.

Căldura reprezintă energia calorică transferată de la un corp la altul prin radiație, conducție sau convecție. Gândind astfel ne dăm seama că două corpuri de natură diferită pot avea aceeași temperatură, dar cantități de căldură diferite.

Temperatura mediului extern este provenită în primul rând de la energia radiantă a soarelui. Această energie este transformată în energie calorică, încălzind mediul (apă, aer, sol) și devenind o sursă de căldură. Aceste medii încălzite transferă căldura acumulată în straturile de la suprafață atât în atmosferă, cât și în interiorul lor. Astfel, transformând energia solară în energie calorică suprafața pământului se încălzește și devine o sursă de căldură. Este cunoscut faptul că atmosfera terestră este încălzită în primul rând de căldura propagată de la nivelul solului, deoarece acesta reține o cantitate foarte mică de radiații solare.

Căldura este acumulată în corpurile materiale, de unde este răspândită spre zonele mai reci în funcție de capacitatea de conductivitate. Între două puncte ale mediului care prezintă gradient de temperatură diferite are loc transferul de căldură de la zona mai caldă

---

<sup>6</sup> Simionescu Viorica, 1980, *Ecologie*, Edit. Univ. „Al. I. Cuza” Iași.

către cea mai rece (niciodată invers), deoarece doar căldura poate fi transferată.

**Conducția** reprezintă trecerea energiei calorice, din aproape în aproape, de la un atom la altul, de la o moleculă la alta, de la o structură la alta, până se ajunge la uniformizarea temperaturii. Schimbul de căldură se realizează în mod spontan, fiind declanșat de diferența de temperatură. În materialele solide schimbul de căldură se realizează doar prin conducție. Aceasta variază în funcție de natura și structura materialelor și de densitatea lor.

Conductivitatea este mai mare în mediile solide decât în cele lichide, iar în acestea mai mare decât în aer. Unele corpuri materiale favorizează conducția, fiind termoconductoare, altele dimpotrivă se opun conducției fiind termoizolatoare.

Coeficientul de conductivitate calorică (K) este diferit la bunurile de patrimoniu, în funcție de natura și de structura lor. K reprezintă cantitatea de căldură ce trece sub formă de flux, în unitatea de timp (secundă) prin unitatea de suprafață ( $\text{cm}^2$ ), la un strat gros de 1 cm, diferența de temperatură între partea superioară și cea inferioară fiind de  $1^\circ\text{C}$ .

- pentru apă  $K = 0,0013 \text{ cal/cm}^2/\text{sec/grad}$ ;
- pentru aer  $K = 0,0005 \text{ cal/cm}^2/\text{sec/grad}$ .

Desigur că materialele folosite ca izolatoare termice pot pierde treptat din această calitate dacă porii se umplu cu apă sau cu alte substanțe cu conductivitate mai mare.

Aceste aspecte se cer a fi cunoscute de specialiștii care lucrează în domeniul conservării bunurilor de patrimoniu.

**Convecția** este transmisia căldurii în mediile fluide (apă și aer) de la o temperatură mai mare la una mai mică.

În contact cu sursa de încălzire aerul se încălzește. Prin încălzire densitatea sa devine mai mică, deci devine mai ușor și se ridică în zone cu temperaturi mai scăzute. Aici cedează căldura, devine mai rece și coboară. Se formează astfel un circuit de aer care are menirea de a uniformiza temperatura. În apă lucrurile se petrec oarecum asemănător,



având loc o circulație a apei într-un bazin până se ajunge la homotermie. Densitatea cea mai mare a apei este la temperatura de 4°C. La temperaturi mai mari și mai mici apa devine mai ușoară și începe să circule. Astfel putem să ne explicăm circulația apei într-un lac, unde se ajunge la o homotermie de primăvară (în timpul încălzirii) și la una de toamnă (în timpul răcirii.)

**Radiația termică** este o radiație electromagnetică, fiind caracteristică oricărui corp material, în funcție de temperatura sa. Fiecare corp material este absorbant și emițător de energie radiantă. Energia radiantă este legată de suprafața corpurilor și de temperatură.

Energia radiantă poate fi absorbită atunci când ajunge la suprafața unui corp, sau poate fi reflectată. Energia radiantă absorbită este transformată în energie termică.

Dacă un corp material este mai cald decât mediul în care se găsește atunci el emite energie radiantă și se răcește. Când este mai rece atunci absoarbe energia radiantă și se încălzește.

Capacitatea de absorbție și de radieră a energiei termice depinde de mai mulți factori:

- natura corpului;
- felul suprafeței (netedă sau rugoasă);
- culoare.

Este cunoscut faptul că suprafețele unui corp cu cât sunt mai rugoase și mai închise la culoare cu atât absorb mai multă energie, în timp ce suprafețele netede și de culoare deschisă reflectă mai mult energia.

Energia radiantă modifică atât temperatura interioară a unui corp cât și microclimatul.

Radiația absorbită este transformată în energie electromagnetică cu lungimi de undă mai mari (căldură). Această căldură poate fi transmisă apoi în mediul înconjurător ca radiație, sau poate fi răspândită în interiorul corpului material ajungând mai târziu la suprafață.

Energia solară care cade pe o clădire este, în cea mai mare parte reflectată, însă o parte este asimilată de ziduri. Radiația absorbită este transferată în căldură și acumulată în ziduri. Astfel zidurile ajung să încălzească interiorul clădirilor în timpul verii. În absența materialelor termoizolatoare căldura absorbită determină creșterea temperaturii în camere influențând în mare măsură starea de conservare a bunurilor existente.

Geamurile lasă să pătrundă radiația solară, însă nu și radiația reflectată de unele suprafețe. În această situație căldura rămâne în încăpere ridicând temperatura și determinând apariția efectului de seră. Procesul depinde de suprafața ferestrelor și de expunerea clădirii; încăperile orientate spre sud se încălzesc repede și mai puternic vara.

În instituțiile muzeale ca și în locuințe încălzirea pe timpul iernii se face artificial (sobe, calorifere, centrale termice etc.). Aerul rece din încăpere venind în contact cu sursa de căldură, se încălzește, devine mai ușor și se ridică spre zonele mai reci. Aici se răcește cedând o parte din căldură și coboară formând astfel curenți de convecție care se mențin atât timp cât există diferență de temperatură între sursa de încălzire și pereții camerei. Treptat temperatura pereților și a obiectelor de pe pereții crește, ceea ce are ca efect micșorarea vitezei curenților de convecție. Este lesne de înțeles că, viteza curenților de convecție este direct proporțională cu diferența de temperatură dintre zonele calde și cele reci. În felul acesta se produce creșterea temperaturii generale a spațiului. Prin creșterea temperaturii se produce creșterea energiei de activare a unor reacții chimice și biochimice și se produce și modificarea umidității relative a aerului.

Încălzirea discontinuă produce fluctuații mari de temperatură, mai ales atunci când căldura se poate pierde ușor. Pierderile de căldură depind de mai mulți factori:

- structura clădirii;
- materialele folosite la construcții (mai mult sau mai puțin termoizolatoare);
- intervalul dintre două încălziri.

Într-o sală încălzită curenții de convecție cedează o parte din căldură obiectelor din cameră. Apar diferențe de temperatură atât între obiectele din interior, cât și între acestea și pereții.

În timpul verii sursa de căldură este dată de pereții exteriori, ferestre, uși etc. Pereții se încălzesc la exterior sub directă incidență a radiațiilor solare. Prin conducție căldura ajunge pe partea interioară a peretelui, iar de aici este iradiată în interior. Pereții fiind încălziți în timpul zilei, căldura se transmite și în timpul nopții prin conducție și radiație.

## **Influența temperaturii asupra ciclului biologic al speciilor**

Temperatura este un factor ecologic foarte important, în funcție de care se desfășoară atât ciclul biologic al unei ființe cât și întreaga activitate de nutriție și de reproducere. În mod obișnuit activitatea insectelor are loc la temperaturi cuprinse între 5 și 40°C. În afara acestor praguri de temperatură intervin așa-numitele diapauze, care pot fi provocate de temperaturile crescute – **diapauza estivală**, sau de temperaturile scăzute - **diapauza hiemală** sau **iernarea**.

La temperaturi scăzute insectele își pierd mobilitatea și se retrag în locuri adăpostite, intrând într-o amorțeală generală. Aceasta se realizează sub pragul biologic termic.

Trecerea în diapauză se face după o anumită pregătire fiziologică; în primul rând are loc o deshidratare a organismului, apoi reducerea activităților metabolice la minimum. Unele specii trec în **starea de anabioză**, care înseamnă reducerea la maximum a activităților metabolice, fără ca ființa să moară. Sunt ființe care pot trăi la temperaturi extrem de scăzute (la înghețul cosmic) și care revin la viață în condiții normale.

În mod obișnuit animalele, ca și plantele, pot rezista la rigorile iernii. Rezistența este asigurată, de pregătirea fiziologică specială. După

o toamnă lungă și călduroasă în momentul în care temperaturile coboară brusc sub zero grade, ajungând la  $-20^{\circ}\text{C}$  sau  $-25^{\circ}\text{C}$  organismele sunt nepregătite pentru iernare și îngheață.

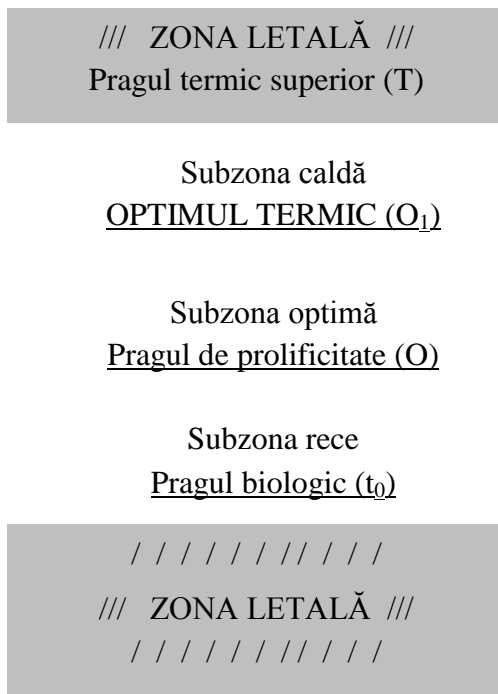
Insectele pot ierna în diferite medii: în sol, în litiera pădurilor, sub scoarța arborilor sau în trunchiurile putrede și în diferite spații închise. Pentru iernare procesul de deshidratare a țesuturilor este esențial. Cu cât în organism rămâne mai puțină apă liberă, cu atât pericolul de înghețare a corpului e mai mic. În timpul iernii temperaturile scăzute ale mediului determină și scăderea corpului speciilor care ierneză. La insecte temperatura corpului poate să scadă până la un anumit **prag termic critic** (care poate fi de  $-2,7^{\circ}\text{C}$ ). La atingerea acestui prag procesele metabolice încep să se învioreze, producând o anumită cantitate de căldură, care nu permite scăderea temperaturii corpului sub  $-2,7^{\circ}\text{C}$ . Dacă va scădea temperatura corpului sub acest prag atunci ființa îngheață și moare. Insectele, râmele, melcii și alte grupe de organisme au capacitatea de a anticipa rigorile iernii. În funcție de această capacitate cele care ierneză în sol se afundă mai mult sau mai puțin. Larvele de cărbuș pot ierna în sol la adâncimi cuprinse între 20 și 60 cm.

La temperaturi mai ridicate decât așa-numitul prag superior activitatea organismelor încetează; intră în diapauză estivală.

Moartea poate fi provocată de coagularea proteinelor. Acest fenomen se poate petrece la temperaturi cu atât mai mari, cu cât procesul de deshidratare fiziologică este mai mare, deci cu cât conținutul de apă liberă din țesuturi și celule este mai mic.

Urmărind influența temperaturii asupra desfășurării ciclului biologic, constatăm că pentru fiecare specie putem stabili un așa-numit **prag termic inferior** sau **prag biologic** ( $t_0$ ) și un **prag superior** – ( $T$ ). Între aceste praguri are loc desfășurarea activităților vitale delimitând **zona biologică**. În afara acestei zone se găsesc zonele letale (inferioară și superioară).

Zona biologică este împărțită în subzone de către **pragul de prolificitate** (O), la care începe fertilizarea sexelor și **pragul termic optim** ( $O_1$ ) la care dezvoltarea se realizează în cel mai scurt timp.



**Fig.3.** Zonele biologice în funcție de temperatură

Sub pragul biologic activitatea biologică încetează. Animalul poate intra în diapauză. Este o diapauză determinată de temperaturi scăzute, hiemală sau de iernare. Trecerea în diapauză hiemală necesită, așa cum am mai precizat, pregătiri fiziologice speciale, concretizate în primul rând în deshidratare. Animalul poate să revină la activitate dacă temperatura sa depășește valorile pragului biologic. Pregătiri fiziologice profunde pot favoriza unele specii să între în anabioză, activitățile metabolice fiind reduse la minimum posibil.

Diapauza determinată de o căldură mai mare de valorile pragului termic superior se realizează de asemenea prin pregătiri fiziologice. După cercetările efectuate de Blunck (1914, 1923), pentru realizarea ciclului biologic organismele au nevoie de o anumită cantitate de căldură. Cantitatea de căldură necesară pentru creșterea și dezvoltarea normală a unei ființe a fost numită de Blunck **constantă termică**.

Temperatura mediului nefiind constantă, ci prezentând variații nictemerale și sezoniere înseamnă că acumularea temperaturii necesare pentru creștere și dezvoltare se face în funcție de natura climatului din arealul fiecărei specii.

Organismele încep să acumuleze căldura numai în condițiile în care temperatura mediului depășește valoarea pragului biologic caracteristic pentru fiecare specie; această temperatură se numește **temperatură efectivă**. Temperatura efectivă este dată de diferența dintre temperatura normală ( $t_n$ ) și temperatura pragului biologic ( $t_0$ ):

$$t_e = t_n - t_0$$

Presupunând că specia  $S_1$  are prag biologic de  $8^\circ\text{C}$ , iar specia  $S_2$ , de  $11^\circ\text{C}$ , atunci temperaturile efective ale acestor specii, la o temperatură normală a mediului de  $20^\circ\text{C}$  ar fi :

$$t_{e(S_1)} = t_n - t_{0(S_1)} = 20 - 8 = 12^\circ\text{C}$$

$$t_{e(S_2)} = t_n - t_{0(S_2)} = 20 - 11 = 9^\circ\text{C}$$

Aceasta înseamnă că la aceeași temperatură a mediului de  $20^\circ\text{C}$  specia  $S_1$  acumulează  $12^\circ\text{C}$ , în timp ce specia  $S_2$  numai  $9^\circ\text{C}$ . Ținând cont de aceste relații, înseamnă că putem calcula temperatura efectivă pe care ar putea s-o acumuleze o specie al cărui prag biologic este cunoscut.

Blunck (1914) a constatat că între durata dezvoltării organismelor și temperatură este un raport invers proporțional; cu cât temperatura este mai mare, cu atât durata dezvoltării și a reproducerii este mai mică. Această constatare este valabilă numai în limitele zonei optime de dezvoltare a speciei respective.

În cercetări experimentale Blunck a reușit să stabilească relația după care se poate calcula constanta termică a unei specii. A reușit să

stabilească această relație realizând creșterea unei specii în etuve speciale, la temperaturi constante, dar diferite.

Constanta termică se calculează după relația:

$$K = x_n(t_n - t_o)$$

$K$ =constanta termică;

$t_n - t_o$ = temperatura efectivă;

$x_n$ = durata dezvoltării;

$t_o$ = pragul biologic;

$t_n$ = temperatura la care are loc dezvoltarea.

Presupunând că perioada de dezvoltare a unei specii crescută la 20°C este de 75 de zile, iar la 25°C de 50 de zile, putem calcula constanta termică a celor două loturi:

$$K = x_n(t_n - t_o)$$

$$K_1 = x_{n1}(t_{n1} - t_o) = 75(20 - t_o)$$

$$K_2 = x_{n2}(t_{n2} - t_o) = 50(25 - t_o)$$

Ținând cont că este vorba de aceeași specie înseamnă că și constanta termică este aceeași. Pornind de aici putem calcula  $t_o$ :

$$x_{n1}(t_{n1} - t_o) = x_{n2}(t_{n2} - t_o)$$

$$t_o = \frac{(x_{n1} \cdot t_{n1}) - (x_{n2} \cdot t_{n2})}{x_{n1} - x_{n2}} = \frac{75 \cdot 20 - 50 \cdot 25}{75 - 50} = \frac{1500 - 1250}{25} = \frac{250}{25} = 10^\circ C$$

$$\boxed{t_o = 10^\circ C}$$

Având valoarea lui  $t_o$  putem calcula constanta termică a celor două loturi.

$$K_1 = x_{n1}(t_{n1} - t_o) = 75(20 - 10) = 750^\circ C$$

$$K_2 = x_{n2}(t_{n2} - t_o) = 50(25 - 10) = 750^\circ C$$

Durata dezvoltării speciei se poate calcula pornind de la aceeași relație:

$$K = x_n(t_n - t_0)$$

$$x_n = \frac{k}{t_n - t_0}$$

$$x_{n1} = \frac{750}{20 - 10} = 75 \text{ zile}$$

$$x_{n2} = \frac{750}{25 - 10} = 50 \text{ zile}$$

Pragul de prolificitate (O) se calculează după relația:

$$O = t_0 + \sqrt[4]{k} = 10 + \sqrt[4]{750} = 10 + 5,2 = 15,2^\circ\text{C}$$

Optimul termic se calculează după relația:

$$O_1 = \frac{t_0 + \sqrt{t_0^2 + 4k}}{2} = \frac{10 + \sqrt{10^2 + 3000}}{2} = \frac{10 + \sqrt{3100}}{2} = 32,9^\circ\text{C}$$

Pragul termic superior se calculează după relația:

$$T = t_0 + \sqrt{k} = 10 + \sqrt{750} = 10 + 27,4 = 37,4^\circ\text{C}$$

În natură temperatura nu este constantă. În această situație se folosește temperatura efectivă.

Calculând suma temperaturilor efective pentru un an, pentru fiecare specie, putem să deducem numărul de generații pe care specia respectivă îl poate avea într-un an într-o anumită zonă. Deci, putem calcula gradul de înmulțire al unei specii. Calculul se poate realiza pornind de la relația:

$$g = \frac{\sum(t_n - t_0)}{k}$$

$g$  = numărul de generații;

$\sum(t_n - t_0)$  = suma temperaturilor efective din anul respectiv.

Astfel, pentru specia dăunătoare *Sitotroga cerealella* suma temperaturilor efective este de 400°C la Londra, 899°C la Petersburg și de 1229°C la București. Constanta termică a speciei este 400°C. Aceasta înseamnă ca *Sitotroga cerealella* poate avea:

$$g = \frac{400}{400} = 1 \text{ generație la Londra}$$



$$g = \frac{899}{400} = 2 \text{ generații la Petersburg}$$

$$g = \frac{1229}{400} = 3 \text{ generații la București}$$

## Preferendumul termic al organismelor

Temperatura variază în limite foarte largi pe Terra între poli și ecuator. Cunoaștem că există chiar o zonare termică a planetei, în funcție de care s-au adaptat diferite organisme; fiecare specie având o anumită preferință termică.

De la zonele cu cele mai scăzute temperaturi (-60°C și chiar -70°C sau -80°C în Antarctica și Arctica) la cele cu cele mai ridicate temperaturi (+40°C sau +50°C în zonele deșertice și ecuatoriale). Viața se desfășoară fără întreruperi. Se manifestă chiar și în zonele înghețate, unde temperaturile pot ajunge până la -60°C sau -80°C, dar și în zonele deșertice sau în gheizerele fierbinți, unde temperaturile ajung până la +70°C sau chiar +80°C și chiar mai mult (diferite specii de bacterii termorezistente).

Fiecare specie are un anumit preferendum termic, un minimum, un maximum ca extreme termice până la care își poate manifesta existența și un optimum la care se dezvoltă, în condiții ideale.

Sunt specii adaptate să trăiască în zone cu temperaturi scăzute. În regiunea Indighirka (zona cea mai rece a planetei, unde minima absolută ajunge la -70°C) solul este acoperit cu bacterii, alge, ciuperci, mușchi și licheni. În zonele arctice, în zăpezile care pot avea -30°C, se pot constata dezvoltări exponențiale ale unor alge din genurile *Sphaerella* și *Chlamydomonas* (V. Simionescu, 1980. p.51).

De altfel chiar și unele animale superioare rezistă la temperaturi foarte scăzute: pinguinul imperial *Aptenodytes forsteri* rezistă la -62°C, iar renul *Rangifer tarandus* la -60°C.

Unele specii pot trece în anabioză și rezistă la temperaturi de  $-190^{\circ}\text{C}$  și chiar de  $-270^{\circ}\text{C}$  (unele rotifere și nematode).

## Măsurarea temperaturii

În ceea ce privește măsurarea temperaturii aerului și a corpurilor materiale s-ar părea că nu sunt probleme, situația fiind simplă. Sistemul centezimal (Sistemul Celsius) este foarte cunoscut și are o scară foarte largă de aplicabilitate. Este suficient să ajungi în America pentru a întâmpina unele dificultăți; măsurarea temperaturii se face după sistemul Fahrenheit. Aceasta înseamnă că, pentru a înțelege măsurarea temperaturii trebuie să se facă o transformare a gradelor Fahrenheit în grade Celsius. Fizicienii și mai ales astrofizicienii măsoară temperatura cu ajutorul sistemelor Kelvin; și aici sunt necesare transformări pentru celelalte sisteme. Mai există și sistemele Rankine, Réamur și Rømer, care au doar o semnificație istorică. Transformarea gradelor de temperatură dintr-un sistem în altul se poate realiza ținând seama de trei valori etalon: zero absolut, punctul de înghețare a apei și punctul de fierbere a apei. Într-o scală sinoptică putem înscrie aceste valori (tabelul 2):

**Tabelul 2.** Transformarea gradelor de temperatură dintr-un sistem în altul

	$^{\circ}\text{K}$ (Kelvin)	$^{\circ}\text{C}$ (Celsius)	$^{\circ}\text{F}$ (Fahrenheit)
<b>Punctul de fierbere a apei</b>	373,15	100	212
<b>Punctul de înghețare a apei</b>	273,15	0	32
<b>Zero absolut</b>	0	$-273,15^{\circ}$	$-459,67^{\circ}$

Pentru transformarea gradelor dintr-un sistem în altul folosim relațiile:

$$^{\circ}\text{C} = ^{\circ}\text{K} - 273,15$$

$$^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,15$$

$$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) / 1,8$$

$$^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{C} \times 1,8 + 32$$

$$^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{K} \times 1,8 - 459,67$$

$$^{\circ}\text{K} = (^{\circ}\text{F} - 32) / 1,8$$

## Efectele căldurii

Acestea pot fi indirecte sau directe. Efectele indirecte sunt în asociere cu alți factori (umiditate relativă, lumină, factori biodeterioratori etc.).

Efectele directe se manifestă în diferite moduri. În funcție de sursa de căldură se formează unii curenți de aer care circulă în toată încăperea. Aerul încălzit devine mai ușor și urcă spre tavan; pierzând căldura se răcește și coboară. Acest circuit este urmat de aerul din apropiere. Se formează un circuit continuu care conduce la uniformizarea temperaturii în cameră și care antrenează tot felul de impurități care se găsesc în aer și care sunt depuse, în mare parte, pe pereți sau pe obiecte (praf, spori de bacterii, ciuperci).

Atunci când se ard lumânări, candelă, tămâie unele produse ale arderii sunt antrenate de curenții de aer și sunt depuse pe pereți și pe obiecte. Este cunoscută afumarea frescelor din bisericile în care se ard lumânări.

Praful din aer este antrenat și depus pe obiecte ca urmare a curenților de aer provocați de diferența de temperatură. Chiar dacă nu intrăm mult timp într-o cameră depunerea de praf are loc în mod

constant datorită curenților de convecție. Așa se explică depunerea „prafului de bibliotecă” și a „prafului de arhivă”.

### **Efectul dilatației și contracției termice**

Dilatația și contracția reprezintă fenomene fizice determinate de căldură.

Este cunoscut fenomenul de dilatație liniară la unele metale și aliaje. Prin dilatație liniară înțelegem alungirea în milimetri a unui metru din materialul care a fost încălzit de la 0°C la 100°C. Coeficientul de dilatație liniară este cel mai ridicat la argint (1,95 mm) și alamă (1,84mm), iar cel mai scăzut la sticla de cuarț (0,05 mm).

Dilatația și contracția determinate de temperatură par a nu afecta prea mult obiectele de patrimoniu deoarece aceste procese sunt reversibile. Însă, în situația în care un obiect este format din straturi și materiale de natură diferită, cu coeficienți de dilatație diferiți, pot apare efecte negative destul de grave: dezlipirea și separarea straturilor, desprinderea acestora, apariția unor fenomene de clivaj etc.

În înțelegerea acestor fenomene fizice trebuie să ținem cont de **coeficientul de dilatație cubică**. Prin acest coeficient trebuie să înțelegem variația relativă a volumului, pentru fiecare grad de temperatură. La gaze coeficientul de dilatație cubică are aceeași valoare la temperatură și presiune constantă, fiind de 1/273,16 pentru toate temperaturile și pentru toate cazurile. La corpurile solide omogene și de format cubic creșterea în volum se manifestă prin creșterea laturilor.

De efectul negativ al dilatației cubice ne dăm seama atunci când un obiect format din straturi succesive de materiale având un miez metalic este supus la variații termice. Metalul având coeficientul de dilatație cubică mai mare provoacă distrugerea prin fisurare și dislocare a celorlalte straturi.

## **Evaporarea**

Evaporarea este un proces fizic determinat de temperatură. Cu cât temperatura crește într-un mediu cu atât temperatura apei este mai mare.

În cazul igrasiei apa se evaporă antrenând în urmă apa capilară care scoate la suprafață diferite săruri minerale, producând fenomenul de eflorescență și deteriorarea substratului. Fenomenul de evaporare provoacă apariția craclurilor (plesnirea reticulată) a picturilor.

## **Deshidratarea**

Este o consecință firească a fenomenului de evaporare de lungă durată. Prin evaporarea apei de constituție a unor bunuri materiale, în condiții de U.R. redusă se produc deteriorări structurale ale acestora. Lemnul se deformează și plesnește, iar hârtia se răscoace. În cazul lemnului pierderea apei de constituție se realizează în straturile superioare ale acestuia. Cele inferioare sunt mai puțin afectate, sau mai târziu afectate dacă condițiile termice și de U.R. se mențin mult timp constante. În felul acesta lemnul de la suprafață se contractă și se deformează, iar din loc în loc plesnește și se fisurează.

Deshidratarea are efecte negative în cazul pergamentului, care conține fibre de collagen dispuse neuniform. Prin deshidratare fibrele de collagen se contractă deformând pergamentul.

Contractia și deformarea sunt mai puternice în zonele în care sunt mai multe fibre de collagen.

Un fenomen rar întâlnit, provocat de creșterea temperaturii este autoaprinderea unor obiecte de patrimoniu. Acest fenomen a fost semnalat la unele muzee etnografice. La casele învelite cu paie, datorită ploilor paieile se îmbibă cu apă și rețin apa o lungă perioadă de timp, ceea ce provoacă putrezirea acestora la interior. În procesul de putrefacție sunt emanate unele gaze care se pot aprinde la temperaturi mai ridicate (40-50 °C). Astfel de temperaturi, chiar mai

ridicate, se pot realiza sub acțiunea directă a razelor de soare în zilele toride de vară.

## **Căldura specifică**

Prin căldură specifică înțelegem cantitatea de căldură necesară pentru ridicarea cu un grad a temperaturii unei unități de masă a unui corp material (gram, kilogram).

Căldura specifică diferă de la un corp la altul în funcție de natura lor. Cea mai mică temperatură specifică o au metalele, în timp ce materialele amorfe sau fibroase au o căldură specifică foarte mare.

Dacă aurul pur are o căldură specifică de 0,031 Kcal/kg grad, iar fierul pur de 0,111 kcal/kg grad, lemnul are o căldură specifică de 0,570 kcal/kg grad. Între materialele amorfe ceara are cea mai mare căldură specifică –0,700 kcal/kg grad. Cu cât un obiect de patrimoniu este realizat din mai multe tipuri de materiale cu atât diferența determinată de căldura specifică a acestora poate sta la baza unor procese de deteriorare.

## **Fenomenul de termoforeză**

Temperatura este factorul principal care determină mișcarea prafului într-o încăpere. Mișcarea sau turbulența aerului este provocată de diferența de temperatură care apare între sursa de încălzire și pereți, între podea și tavan, între ferestre și pereții opuși.

Aerul este încărcat cu praf și substanțe organice moarte particulare de diferite mărimi. Nu ne dăm seama de încărcătura aerului în diferite particule. Este suficient să privim unele fascicule de raze solare care străbat prin ferestre luminând dușumeaua. În fasciculul de raze putem vedea adesea un adevărat „spectacol”. Milioane de firișoare de praf joacă neconștient într-o mișcare haotică descoperind privirii calitatea aerului pe care îl inspirăm. Particulele de praf aflate în

suspensie și mișcate sub influența curenților de aer provocați de diferența de temperatură reprezintă ceea ce specialiștii numesc **termoforeză**. Chiar dacă facem ceea ce numim o curățenie perfectă într-o cameră și nu mai pătrundem în ea o lungă perioadă de timp putem constata că în această perioadă s-a depus o importantă cantitate de praf pe mese, pe tablouri, pe pereți etc.; este praful de suspensie purtat de curenții de convecție determinați de diferența de temperatură din diferite zone ale încăperii.

Curenții de convecție nu pot fi evitați într-un spațiu locuibil sau muzeal, însă pot fi reduși prin izolarea termică a pereților. Pereții externi suferă variații de temperatură, vara și iarna, dar și în restul anului, sub influența directă a mediului extern, realizând o diferență importantă de temperatură față de pereții interni, ceea ce provoacă apariția curenților de convecție. Reducerea acestora, dar nu anularea, se poate obține printr-o bună izolare termică a pereților exteriori.

Praful acumulat pe obiectele de patrimoniu (cărți, tablouri, țesături, bibelouri etc.) favorizează apariția proceselor de deteriorare biologică și nebiologică.

## **Temperatura de culoare a surselor**

Aceasta reprezintă o măsură a culorii aparente exprimată în grade Kelvin. S-a pornit de la faptul că distribuția energiei luminoase vizibile se aseamănă cu energia emisă de un radiator negru la o anumită temperatură. Lămpile cu incandescență emit în mod discret, un sistem de raze care se aseamănă cu cele emise de un radiator cu corp negru care se găsește la temperaturi cuprinse între 2400 – 2800°K.

Se cunoaște faptul că lumina zilei nu este constantă, ci variabilă, în funcție de poziția soarelui și de condițiile atmosferice.

Temperatura de culoare a unui cer albastru poate varia între 10000 – 25000°K. S-a stabilit un anumit raport între temperatura de

culoare și intensitatea de albastru; cu cât temperatura de culoare este mai ridicată cu atât conține mai mult albastru (Thomson).

Dintre sursele de lumină cea mai mică temperatură de culoare o are becul incandescent cu tungsten - 2400 – 3000°K. Alte surse de lumină ar avea temperaturi de culoare cuprinse între:

- lampa fluorescentă alb cald – 3500°K;
- lampa fluorescentă alb rece – 4500°K;
- lampa fluorescentă tip lumina zilei – 6500°K;
- cer parțial noros – 7500°K;
- cer albastru pur - 25000°K.

Putem deduce că o sursă de lumină este cu atât mai nocivă cu cât cuprinde radiații cuprinse în zona albastru – violet.

Cele mai nocive radiații sunt cele care conțin radiații cu lungimi de undă cuprinse între 320 – 400 nm, deci razele ultraviolete.

## **Temperatura ca factor ecologic**

Temperatura mediului poate influența în mare măsură starea de conservare a obiectelor de patrimoniu. Aceasta deoarece energia termică poate declanșa unele procese cu efecte nocive pentru sănătatea obiectelor.

În funcție de temperatură se desfășoară majoritatea proceselor chimice de oxidare.

Activarea termică a unor procese chimice și biochimice poate afecta grav starea de sănătate a unor bunuri de patrimoniu (cărți, manuscrise, fotografii, pergamente, piele, icoane, materiale textile, colecții biologice etc.).

Reacțiile chimice și biochimice sunt ireversibile fiind influențate în mod principal de temperatură. În spațiul muzeal (săli de expoziție, depozite, căi de acces) se creează un mediu favorabil desfășurării unor procese chimice. Există un complex de factori care pot declanșa și întreține astfel de procese:

- natura și structura obiectelor expuse sau depozitate;



- temperatura;
- umiditatea;
- compoziția aerului ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $SO_2^-$ ,  $NO_2^-$ );
- lumina, sau lipsa de lumină.

Trebuie să înțelegem că oxidarea lentă (autooxidarea) compușilor organici la temperatura camerei reprezintă principala cauză nebiologică a degradării acestora. Aceasta este mult influențată de temperatură și de lumină.

Temperatura influențează foarte mult rata reacțiilor chimice. Svante Arrhenius a descoperit principiul legăturii dintre temperatură și rata reacțiilor chimice. Temperatura asigură **energia de activare** ( $E_a$ ) necesară reacțiilor chimice.

Condițiile declanșării și întreținerii reacțiilor chimice ar fi:

- contactul dintre reactanți;
- orientarea geometrică a reactanților;
- energia de activare.

Chiar dacă primele două condiții sunt asigurate, declanșarea reacțiilor chimice nu se poate realiza fără participarea unei energii de activare. Energia de activare este o energie suplimentară pe care trebuie s-o primească atomii și moleculele pentru ca ciocnirile acestora să conducă la declanșarea reacțiilor chimice. Energia de activare ( $E_a$ ) reprezintă impulsul inițial necesar pentru inițierea reacțiilor chimice. Este minimul de energie pe care reactanții trebuie să-l primească pentru a declanșa reacțiile chimice, capabile să-l conducă până la formarea unor produși finali stabili.

În cazul moleculelor, care de cele mai multe ori sunt legate între ele, tocmai  $E_a$  determină ruperea legăturilor, astfel încât moleculele pot să se combine cu altele, formând produși noi.

Întrucât legăturile dintre molecule au tării diferite, înseamnă că  $E_a$  trebuie să aibă, de asemenea valori diferite. Plastic vorbind, energia de activare este scânteia care provoacă avalanșa reacțiilor chimice.

Valoarea energiei de activare poate oscila între 10 Kcal/mol și 110 Kcal/mol.

Ca energii de activare în mediile muzeale pot acționa temperatura și lumina.

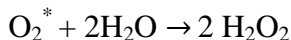
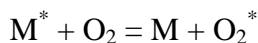
Este cunoscut faptul că atomii și moleculele sunt într-o permanentă mișcare – mișcare browniană (vibrație în corpurile solide, rotație și vibrație în cele lichide și agitație termică în mediul aerian). Mișcarea browniană nu încetează decât la  $-273,15^{\circ}\text{C}$ . Aceasta este considerabil influențată de temperatură.

Maxwell și Boltzmann au descoperit că atomii și moleculele care vibrează la aceeași temperatură pot avea niveluri energetice diferite.

Maxwell–Boltzmann și Arrhenius au fundamentat conceptul conform căruia reacțiile chimice au o rată mai mare cu cât crește temperatura. Mișcarea browniană crește în mod proporțional cu creșterea temperaturii, ceea ce favorizează ruperea unor legături moleculare și formarea altora.

În muzee, în condiții normale de temperatură are loc un proces de degradare a substraturilor organice. Autooxidarea organică este, cu siguranță, cea mai importantă cauză a degradării nebiologice a unor materiale.

După cum apreciază V. Daniels, pentru declanșarea proceselor de oxidare a substanțelor este necesară activarea moleculelor. Aceasta se poate realiza pe două căi:

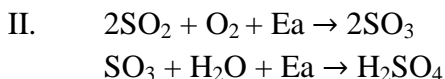


M = moleculă neactivată

M\* = moleculă activată

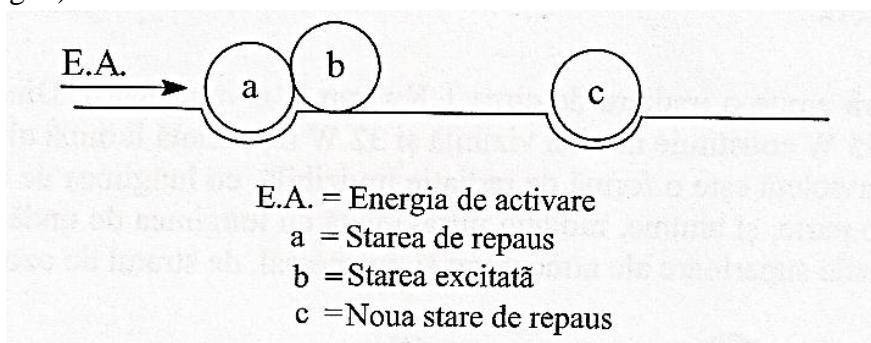
O<sub>2</sub>\* = oxigen activat

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> care rezultă este un puternic oxidant, care poate acționa în mod agresiv asupra substratului, determinând descompunerea acestuia până la substanțe mai simple, stabile.



Acidul sulfuric afectează în mod grav substratul organic descompunându-l. Unele obiecte de patrimoniu care conțin  $\text{SO}_2$  la suprafață (piei, cărți) pot fi degradate în timp la temperatura camerei.

A. Moldoveanu (1999) prezintă schema concepută de Felker privind rolul energiei de activare (Ea) în declanșarea reacțiilor chimice (fig. 4).



**Fig.4.** Reprezentare alegorică a unei molecule aflată sub acțiunea energiei de activare (E.A.) (după F. Oprea, 2010)

Astfel, moleculele de celuloză din structura unui obiect de patrimoniu vibrează la o anumită amplitudine la temperatura camerei, găsindu-se într-o „vale” a unei stabilități relative. Ca urmare a activității unei Ea vibrația moleculelor de celuloză își mărește amplitudinea permițând combinarea lor cu oxigenul, dând naștere unui compus activat. Molecula de celuloză activată cedează oxigenul și revine la starea inițială, iar oxigenul activat se unește cu apa, formând  $\text{H}_2\text{O}_2$ , care are o puternică acțiune de degradare.

În situația în care Ea favorizează formarea oxixelulozei are loc eliberarea unei cantități de energie libere care conduce la formarea unor

produși cu stabilitate mai mare, putând ajunge în final la CO<sub>2</sub> și H<sub>2</sub>O, substanțe stabile din punct de vedere chimic.

Deci, într-un corp material oarecare unele molecule au mai multă energie, altele mai puțină și unele intermediare. Prin urmare, reacțiile chimice se pot declanșa în funcție de încărcarea energetică a moleculelor. Chiar la temperaturi mai scăzute pot exista unele molecule care vor avea energia de activare necesară declanșării unor reacții chimice. Să nu ne mire faptul că procesul de degradare chimică sau biochimică poate fi declanșat în interiorul unor corpuri materiale (putem avea surpriza, în unele cazuri, că „la noi e putred mărul”).

Temperatura și lumina pot acționa în aceste condiții ca adevărați activatori.

R.D. Smith a efectuat unele experimente privind influența temperaturii și a pH-ului în conservarea hârtiei (permanența hârtiei = gradul în care hârtia își păstrează calitățile). El a urmărit perioada de înjumătățire a calității hârtiei în funcție de natura sa și de influența temperaturii și a pH-ului. Trebuie să interpretăm perioada de înjumătățire ( $T_{1/2}$ ) ca și în cazul izotopilor radioactivi. Folosind diferite sorturi de hârtie Smith a stabilit următoarele perioade de înjumătățire al hârtiei (tabelul 3).

**Tabelul 3.** Perioada de înjumătățire a calității hârtiei în funcție de temperatură (după Smith, prezentată de A. Moldoveanu, 1999)

Temperatura	$T_{1/2}$
10 °C	3100 ani
20 °C	490 ani
30 °C	88 ani
35 °C	40 ani

Ținând cont de faptul că pH-ul are un rol deosebit în descompunerea hârtiei, tabelul conceput de Smith se prezintă astfel:

**Tabelul 4.** Perioada de înjumătățire a calității hârtiei în funcție de temperatură și pH (după Moldoveanu, 1999).

Temperatura	pH		
	6	5	4
35 °C	8,2 ani	4,6 ani	2,4 ani
30 °C	18 ani	10 ani	5,1 ani
20 °C	100 ani	53 ani	28 ani

Deci, cu cât temperatura crește cu atât scade perioada de înjumătățire a calității unui bun material.

Garry Thomson considera că temperaturile obișnuite (20°C) nu pot provoca ruperea unor legături chimice care să treacă de 30-40 Kcal/mol.

Cercetările din acest domeniu ne atrag atenția că:

- temperaturile obișnuite pot avea Ea suficientă pentru a produce degradări chimice semnificative unor bunuri de patrimoniu (cărți, documente, papirusuri, fotografiile artistice etc.);
- pe timpul verii și uneori iarna (în spațiile încălzite) temperaturile pot depăși 20°C și uneori 30 °C;
- temperatura nu acționează singură, ci în corelație cu alți factori ecologici.

De aici putem trage concluzia că, în conservarea bunurilor de patrimoniu factorii termici prezintă o importanță capitală.



## Umiditatea

Apa este mediul în care a apărut viața și care o întreține. Ca factor ecologic apa nu acționează singură, ci în asociere cu o multitudine de alți factori fizici și chimici. Este în relație directă cu temperatura și cu compoziția chimică a mediului în care se găsește (aer, sol, bazine acvatice). Fiind cel mai puternic dizolvant din natură apa se încarcă cu multe substanțe chimice care îi conferă anumite proprietăți. Oxigenul și gazele poluante ( $H_2S$ , oxizi de azot, amoniac, ozon etc.) în combinație cu apa devin factori reactivi deosebit de puternici cu efecte distructive asupra bunurilor de patrimoniu.

Întreținând viața apa creează medii favorabile pentru bacterii, alge, ciuperci, mușchi, licheni etc., atunci când suporturile sunt umede sau bine îmbibate cu apă.

Se cunoaște că în funcție de nevoile lor de apă organismele se pot împărți în diferite categorii ecologice:

1. **hidrofite** (plante) și **hidrofile** (animale) care trăiesc în apă, fiind organisme acvatice;
2. **higrofite** (plante) și **higrofile** (animale) care trăiesc în medii cu umiditate ridicată (nu în ape) și suportă variații mici de umiditate, fiind organisme **stenohigrice**;
3. **mezofite** (plante) și **mezofile** (animale), care preferă medii cu umiditate moderată și suportă variații cuprinse în limite mari ale umidității, fiind **eurihigrice**;
4. **xerofite** (plante) și **xerofile** (animale), care preferă unele medii cu deficit de apă (soluri aride, deșerturi) și suportă variații mici ale umidității, fiind **stenohigrice**;

Pentru a trăi în astfel de medii organismele suferă adaptări morfologice și fiziologice importante.

Între agenții biodeterioratori ai bunurilor de patrimoniu găsim organisme din toate aceste tipuri ecologice, atunci când aceste bunuri se găsesc în astfel de medii.

Asupra organismelor apa acționează prin trei componente ale sale:

- precipitații;
- umiditatea aerului;
- umiditatea solului.

Precipitațiile pot afecta bunurile de patrimoniu atunci când sunt abundente și provoacă inundații, sau atunci când afectează direct unele obiecte expuse în natură (statui, troițe, fântâni arteziene etc.).

**Umiditatea aerului** este un factor ecologic deosebit de important pentru mediile în care se găsesc bunuri de patrimoniu. Prin umiditatea aerului înțelegem încărcătura acestuia cu vapori de apă. Deosebim o umiditate **absolută**, și una **relativă**.

**Umiditatea absolută** reprezintă cantitatea de vapori de apă, în grame, pe unitatea de volum (la 1 kg de aer sau la 1 m<sup>3</sup> de aer).

Umiditatea absolută poate reprezenta și presiunea parțială a vaporilor de apă care se găsesc în aer. Reprezintă partea ce revine vaporilor de apă din presiunea totală a atmosferei. Se măsoară în milimetri de mercur sau în milibari. Aerul saturat conține, la o temperatură de 20°C, 17,3 g/ m<sup>3</sup> ceea ce reprezintă o presiune parțială de 23,4 mb (Simionescu V., 1980)

Ținând cont de faptul că aerul este rareori saturat în vapori de apă se utilizează **umiditatea relativă a aerului** (UR), care reprezintă cantitatea de vapori care se găsește în aer raportată la cantitatea de vapori în saturație la temperatura respectivă. Astfel, într-o cameră, la 20°C, umiditatea relativă de 50% reprezintă o cantitate de vapori de 8,16 g/ m<sup>3</sup>, ceea ce corespunde unei presiuni de vapori de 11,7 mb.



Fiind vorba de un parametru higrometric umiditatea relativă a aerului se măsoară cu **psihrometrul**. Acesta măsoară gradul de saturație a aerului în vapori, față de saturația de 100%.

Umiditatea relativă a aerului este un factor ecologic care depinde de temperatură. Trebuie să înțelegem că la aceeași cantitate de vapori aerul va fi cu atât mai saturat în vapori cu cât temperatura este mai mare.

În condițiile climatice ale României umiditatea relativă medie a aerului este de 70-75 % în regiunile de șes și de dealuri și de 85-90% pentru zonele muntoase. Vara UR poate să scadă chiar și până la 30%. În schimb iarna, atât la șes cât și la munte, umiditatea relativă este de 89-90%.

În clădiri umiditatea relativă a aerului este influențată de mai mulți factori:

- evaporarea apei din zidurile cu igrasie (infiltrații de apă);
- evaporarea apei folosită la curățirea spațiului;
- evaporarea apei folosită în diferite activități muzeale;
- temperatură.

Saturația aerului în vapori de apă este, în funcție de temperatură.

**Tabelul 5.** Valorile de saturație a aerului (U. R. 100%) în funcție de temperatură în spațiul muzeal. (după A. Moldoveanu 1999)

<b>Temperatura</b>	<b>U.R.</b>
0°C	4, 87 g/mc aer
1°C	5,23 g/mc aer
5°C	6,87 g/mc aer
10°C	9,40 g/mc aer
15°C	12,7 g/mc aer
20°C	17 g/mc aer
25°C	22,6 g/mc aer
30°C	29,6 g/mc aer
35°C	38,3 g/mc aer

În condițiile în care într-o încăpere aerul devine suprasaturat în vapori de apă începe condensarea acestuia și formarea de picături de apă sub formă de ceață, sau picături care se depun pe diferite obiecte. De altfel punctul la care umiditatea aerului ajunge la saturație se numește **punct de rouă**. Acesta afectează în mod direct bunurile de patrimoniu prin depunerea pe suprafața lor a unei anumite cantități de apă.

Cunoașterea umidității relative (UR) în activitățile de conservare a bunurilor de patrimoniu reprezintă o condiție obligatorie.

U.R. se calculează după relația lui Plenderleith:

$$UR = \frac{p}{P} \cdot 100$$

$p$  = conținutul de vapori ai aerului în momentul înregistrării

$P$  = cantitatea maximă de vapori la saturare.

Ținând cont de influența pe care temperatura o are în realizarea saturării cu vapori de apă vom introduce în relația de mai sus valoarea lui „ $P$ ” în funcție de temperatură:

$$UR = \frac{p}{12,7} \cdot 100 \text{ la } 15^{\circ}\text{C}; UR = \frac{p}{29,6} \cdot 100 \text{ la } 30^{\circ}\text{C};$$

Între UA, UR și ( $t$ ) temperatură se pot stabili unele relații care ne facilitează mult înțelegerea influenței temperaturii asupra umidității.

Astfel, la o temperatură constantă și la o anumită U.A. putem stabili valoarea U.R. (tabelul 6).

**Tabelul 6.** Raportul dintre ( $t$ ), U.A. și U.R. în condițiile de temperatură constantă (după A. Moldoveanu, 1999)

<b>t</b>	<b>U.A.</b>	<b>U.R.</b>
+ 20°C	10,31 g/ mc	60%
	8 g/ mc	47%
	12 g/ mc	70%

**Tabelul 7.** Raportul dintre t, U.A. și U.R. la o U.A. constantă  
(după A. Moldoveanu, 1999)

U.A.	t	U.R.
8,69 g/mc	+ 20°C	51 %
	+ 9 °C	98 %
	+ 25°C	38 %

Umiditatea relativă a unei încăperi muzeale este influențată de temperatură și de valoarea U.A. Trebuie însă să ținem cont și de alți factori. Sursa de vapori de apă poate fi asigurată de diferite tipuri de materiale existente într-o încăpere, ținând cont de faptul că apa se găsește sub diferite forme în compoziția materialelor:

- **apă de constituție**, sau apa legată în structurile chimice ale materialelor, care nu poate fi cedată (0-6%); și o piatră și o cărămidă prezintă apă de constituție;
- **apă legată fizic**, care este reținută de materiale ca urmare a absorbției, fiind vorba de o apă higroscopică;
- **apa liberă**, care poate fi reținută în elementele structurale ale materialului și care poate fi cedată în funcție de saturația în vapori de apă a încăperii.

### **Influența umidității asupra organismelor**

Umiditatea, în strânsă corelație cu temperatura și cu alți factori ecologici, influențează mult activitatea organismelor.

În funcție de umiditate se realizează:

- zonarea geografică a organismelor;
- distribuția în interiorul arealului ocupat de o specie;
- viteza de dezvoltare;
- longevitatea;
- fecunditatea.

Așa cum temperatura efectivă influențează mult viteza de desfășurare a ciclului biologic, tot așa și umiditatea are un rol foarte important în acest proces.

Efectele interacțiunii dintre umiditate și temperatură depind nu numai de valorile medii ale acestora, ci și de cele critice.

Cercetările au demonstrat că temperatura are efecte nocive atunci când condițiile de U.R. sunt critice (minime sau maxime); de asemenea U.R. are efecte distructive mai puternice atunci când temperatura se apropie de valorile critice.

Astfel, în condiții de laborator, cu o umiditate absolută (U.A.) constantă, putem determina dinamica U.R. în funcție de temperatură astfel:

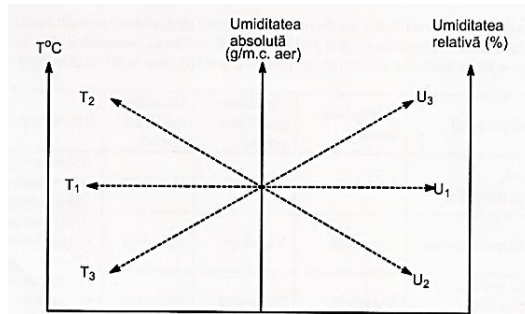
1. La o temperatură de 15°C, și o U.A. de 8 g/mc, umiditatea relativă (U.R.) va fi de 12,9 g/mc, adică 62%.
2. La o temperatură de 20° C și o U.A. de 8 g/mc U.R. va fi de 17,3 g/mc, adică 46%.
3. La o temperatură de 25° C și aceeași U.A. de 8 g/mc U.R. va fi de 23 g/mc, adică de 34,8% după datele oferite de F. Oprea (2010, p.40). Este vorba de o umiditate de saturație, care ajunge la **punctul de rouă**.

Din datele oferite deducem cu ușurință, că într-o încăpere gradul de saturație în vapori de apă necesită mai puțină apă la temperaturi scăzute și mult mai mari la temperaturi ridicate.

Exprimând grafic relațiile dintre umiditatea relativă și temperatură putem constata următoarele (fig.5).

Acțiunea comună a umidității și temperaturii cu alți factori ecologici asupra organismelor poate fi ilustrată sub forma climogramelor.

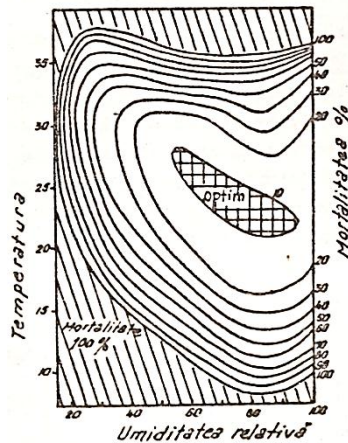
Urmărind constantele termice caracteristice organismelor am constatat că există anumite zone (optimă, rece, caldă și zone letale). Trebuie să acceptăm că și în cazul umidității trebuie să existe o zonă optimă, una cu deficit de umiditate, alta cu surplus de umiditate și zone letale.



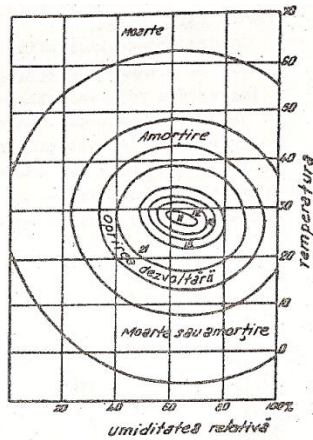
**Fig.5.** Dinamica interactivă a temperaturii și umidității relative a aerului (după F. Oprea, 2010)

Pentru fiecare specie putem determina condițiile optime de dezvoltare și de prolificitate, dar și condițiile limitative și chiar letale.

Citându-l pe Shelford, 1927, R. Dajoz (1970) menționează că pentru specia de fluturi *Carpocapsa pomonella* condițiile optime de dezvoltare și de prolificitate sunt cuprinse între temperatura de 21-28°C și o umiditate de 55-95%. (Fig.6). Pentru gărgărița mărului, *Anthonomus grandis* condițiile optime de temperatură sunt cuprinse între 22-34°C și o umiditate de 52-80% (fig.7).



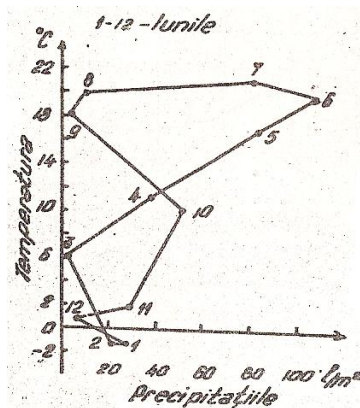
**Fig. 6.** Acțiunea combinată a temperaturii și umidității asupra mortalității la *Carpocapsa pomonella* (după Shelford, 1927, din Dajoz, 1970)



**Fig. 7.** Acțiunea combinată a temperaturii și umidității asupra duratei de dezvoltare la *Anthonomus grandis* (după Pierce, 1917, din Dajoz, 1970)

Pe baza relațiilor dintre temperatură și umiditate se stabilesc climograme care au o importanță deosebită în caracterizarea climatică a unor ecosisteme. Astfel, climogramele după modelul Boal și Cook combină termograma cu higrograma, urmărind variația acestora în timp.

Astfel, într-o climogramă de tip Boal și Cook vom înscrie pe o axă temperaturile, iar pe cealaltă umiditatea (exprimată în precipitații sau U.R.). Desfășurarea temporală se realizează prin puncte pentru fiecare lună. (fig.8).



**Fig. 8.** Climograma tip **Boal** și **Cook** pentru zona orașului Iași, în 1975

Astfel de climograme se pot realiza și în condiții de laborator (muzeale), înscriind datele de temperatură și umiditate înregistrate cu ajutorul termohigrometrului mecanic sau digital, sau în mod separat temperatura cu termometrul și umiditatea cu higrometrul. Desigur că poate fi folosit și psihrometrul.

Pentru măsurarea umidității relative în spațiile muzeale se pot folosi diferite tipuri de higrometre:

- **higrometre cu fir de păr** – au în structura lor un fir de păr întins. Acesta se alungește atunci când absoarbe apă;
- **higrometre mecanice și cu înregistrare electronică;**
- **higrometre chimice** – care conțin anumite săruri care absorb vaporii de apă; cunoscându-se volumul de aer se poate calcula umiditatea relativă a acestuia;
- **higrometre de condensare** – au la bază principiul punctului de aburire (rouă). Răcind un corp în atmosferă acesta se va aburi atunci când presiunea vaporilor este egală cu presiunea actuală a vaporilor;

Psihrometrul având două termometre înregistrează temperatura atât în aer uscat cât și în aer umed (având bulbul înfășurat cu vată umedă, material textil). Dacă aerul este suprasaturat, din materialul textil nu se evaporă nici o moleculă de apă și cele două termometre vor arăta aceeași temperatură. Evaporarea apei se realizează cu consum de energie, așa că atunci când are loc evaporarea apei din materialul textil va apare o diferență de temperatură între cele două termometre.

Valoarea umidității se calculează pe baza unui tabel psihrometric (tabelul 8).

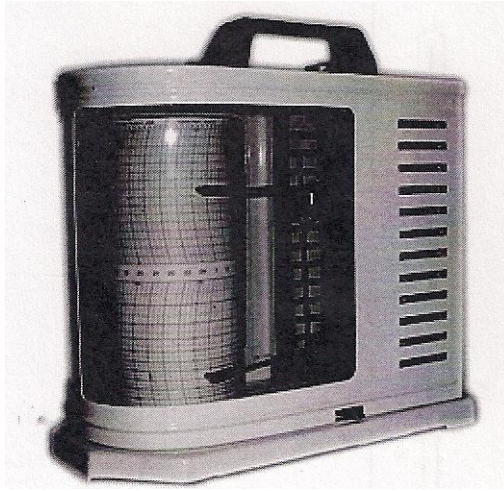
**Tabelul 8.** Tabel psihrometric (în câmpul tabelului sunt prezentate valorile umidității relative a aerului) (după F. Oprea, 2010)

Temperatura termometrului uscat (°C)	Diferența de temperatură între cele două termometre (°C)											
	0°C	1°C	2°C	3°C	4°C	5°C	6°C	7°C	8°C	9°C	10°C	11°C
- 3	100	78	56	35	15							
- 2	100	79	59	39	20							
- 1	100	80	61	42	24							
0	100	81	63	45	28	11						
1	100	83	65	48	32	16						
2	100	84	68	51	35	20						
3	100	84	69	54	39	24	10					
4	100	85	70	56	42	28	14					
5	100	86	72	58	45	32	19	6				
6	100	86	73	60	47	35	23	10				
7	100	87	74	61	49	37	26	14				
8	100	87	75	63	51	40	29	18	7			
9	100	88	76	64	53	42	31	21	11			
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	5		
11	100	88	77	66	56	46	36	26	17	8		
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11		
13	100	89	79	69	59	49	40	31	23	14	6	
14	100	89	79	70	60	51	42	34	25	17	9	
15	100	90	80	71	61	52	44	36	27	20	12	5
16	100	90	81	71	62	54	46	37	30	22	15	8
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32	24	17	10
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27	20	13
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35	29	22	15
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24	18
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39	32	26	20
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28	22
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42	36	30	24
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31	26
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44	38	33	27
26	100	92	85	78	71	64	58	51	46	40	34	29
27	100	92	85	78	71	65	59	52	47	41	36	30
28	100	93	85	78	72	65	59	53	48	42	37	32
29	100	93	86	79	72	66	60	54	49	43	38	33
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44	39	34

În unele muzee se mai folosește încă termohigrograful mecanic. Higrograful se aseamăna cu hidrometrul cu deosebirea că firul sensibil la umiditate este pus în legătură cu o peniță, care înscrie valorile



umidității relative a aerului pe o hârtie fixată pe un tambur rotitor (fig.9).



**Fig. 9.** Termohigrograf mecanic (după F. Oprea, 2010)

## **Fenomenul de deliquescentă**

Este procesul prin care o substanță solubilă care se află în stare uscată absoarbe vaporii de apă din atmosferă până formează o soluție. Se întâlnește în eflorescențele deja formate în condiții de U.R. ridicată.

Între suprafața substratului eflorescent și aer se formează o tensiune de vaporii care poate avea două direcții:

- de la aer către soluția salină suprasaturată, atunci când încărcarea cu vaporii a aerului este mare;
- de la soluția salină către aer atunci când acesta are o umiditate relativă scăzută.

Când unele materiale (cărămidă, ceramică, piatră, lemn, fildeș) absorb săruri, la o umiditate crescută acestea vor ieși la suprafață dând naștere unei eflorescențe. În timp eflorescența crește și formează o crustă de săruri cu colorit diferit față de substrat, care probează existența unui astfel de fenomen.

## Eflorescența

Adesea, în anumite structuri poroase apare fenomenul de eflorescență. Aceste structuri fiind poroase favorizează absorbția apei și circulația capilară a acesteia. În circulația sa apa dizolvă unele substanțe pe care le transportă și care, apărând la suprafața substratului se cristalizează formând pete de culoare. Aceste pete sunt formate fie de un praf pulverulent, fie de o structură cristalină. Structura cristalină se face prin umeziri și uscări repetate ale substratului, ceea ce determină formarea unor cristale fine ale sărurilor minerale scoase la exterior (fig.10).



**Fig.10.** Eflorescența provocată de igrasie (original)

Cristalizarea se poate realiza la suprafața substratului fiind vizibilă, sau se produce sub suprafața peretelui, fiind mai puțin vizibilă (criptoflorescență sau subflorescență). Poate avea loc chiar în profunzimea substratului provocând unele umflări, decojiri etc.

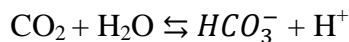
Eflorescența determină formarea de cruste, care se rup și apar apoi unele bucăți de dezintegrare a substratului (fig.11).



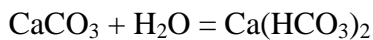
**Fig.11.** Cruste care se desprind datorită igrasiei (original)

În funcție de afluxul de apă eflorescențele pot fi uscate sau umede.

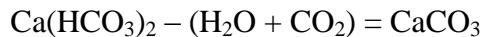
Fenomenul de eflorescență este determinat de acidifierea apei. Apa în contact cu  $\text{CO}_2$  determină formarea de acid carbonic:



Dacă substratul este poros și dacă conține mult calcar, atunci apa este absorbită și vehiculată prin capilare către suprafață. Apa acidulată fiind pusă în contact cu  $\text{CO}_3\text{Ca}$  duce la solubilizarea acestuia:



Bicarbonatul de calciu ajunge cu apa capilară la suprafața substratului, unde are loc formarea unor cristale de carbonat de calciu:



Solubilizarea carbonatului se poate face și de către acidul oxalic, care formează oxalat de calciu, ce se va cristaliza la suprafața substratului.

Prin scoaterea calciului din substrat nisipul din compoziția mortarelor rămâne liber, se scurge prin spațiile create în substrat și ajunge afară antrenând unele formațiuni din structura substratului.

Eflorescența fiind un fenomen favorizat de umiditate creează un mediu propice pentru fixarea unor bacterii sulfuroase, cum ar fi *Desulfovibrio desulfuricans* și *Thiobacillus thiooxidans*.

Cum în structura substratului se găsesc și diferiți sulfați de calciu, ei sunt supuși dezintegrării sub acțiunea bacteriilor. Astfel, bacteria anaerobă reducătoare *Desulfovibrio desulfuricans* acționează asupra sulfaților, sulfiților etc. făcând posibilă apariția hidrogenului sulfurat:



Hidrogenul sulfurat dă naștere la sulfuri, care ajung la suprafață și cristalizează.

Speciile de *Thiobacillus*, aerobe, oxidează compușii de sulf dând naștere la acid sulfuric.

Acidul sulfuric va transforma carbonatul de calciu în ghips:



Astfel că în eflorescență apare, prin măcinarea substratului și ghipsul.

## Igrasia

Nimic mai neplăcut decât să vezi o casă arătoasă sau un monument arhitectonic vechi cu zidurile umede de la temelie până la ferestre, cu eflorescențe și cu zugrăveala coșcovită și umflată din loc în loc. În astfel de clădiri simți, în interior, umiditatea în dreptul igrasiei și mirosul de mucegai. Zugrăveala este umedă, umflată pe alocuri și distrusă (fig.12).

**Igrasia**, sau **umiditatea ascensională** funcționează ca un mecanism bine pus la punct. Apa este suptă, de la temelie și este împinsă în mod constant prin capilarele zidului. Ajungând la pereții externi are loc evaporarea apei. Aceasta ajunge însă cu o serie de săruri minerale (carbonați de calciu, sulfați, oxalați etc.). Zugrăveala începe să

cedeze, apar umflăturile caracteristice, încep să apară fisuri din ce în ce mai mari și să se desprindă bucăți mai mari sau mai mici din perete.



**Fig. 12.** Igrasie ascensională (original)

Umiditatea ridicată, asociată cu aspectul neplăcut al zidurilor și cu mirosul greu de mușchi determină vicierea mediului și îl face nesănătos. Trebuie să se intervină și să se elimine igrasia. Nu este ușor, deoarece coloana de apă provine de la bază, de la temelie, unde stratul izolator nu a fost bine realizat, sau prezintă fisuri care permit trecerea apei.

Nu este suficient să uscăm pereții sau să eliminăm tencuielile până la zid deoarece coloana de apă continuă să funcționeze și să scoată la suprafață sărurile minerale. Dacă uneori peretele se usucă și se pare că igrasia a fost eradicată, s-ar putea să avem surpriza să constatăm reapariția sa. Se poate ca, în lipsa precipitațiilor, pânza freatică să fi coborât mai mult, nemaialimentând suficient coloana de apă ascensională, să apară o oarecare ameliorare. Imediat ce precipitațiile își fac apariția, iar pânza de apă freatică se ridică, reapare fenomenul de igrasie cu toată vigoarea sa. Dacă nu se intervine la baza clădirii, la temelie, pentru a reface izolarea hidrică, putem spune că, igrasia nu are moarte.

Coșcovirea pereților, măcinarea tencuiei și apariția eflorescențelor nu reprezintă decât efectul igrasiei, nu cauza. Dacă nu se acționează la eliminarea cauzei, ci doar la eliminarea efectelor ei, atunci nu se poate realiza eradicarea igrasiei. Igrasia devine o boală a clădirilor. Fiecare boală se manifestă prin anumite simptome, care pot fi puse adesea în evidență și cu ușurință observate. Simptomele servesc la punerea diagnosticului. Însănătoșirea nu se realizează decât atunci când se acționează împotriva cauzelor bolii, nu în primul rând pentru eliminarea unor simptome.

Dacă avem înfipt un ac în spate nu ameliorăm situația prin substanțe antinevralgice, nici chiar prin folosirea morfinei. Este suficient să eliminăm cauza (să scoatem acul). Deși comparația este forțată scoate bine în evidență comportamentul pe care trebuie să-l adoptăm în diferite situații.

## **Infiltrațiile și inundațiile**

Nimic nu este mai neplăcut într-o locuință sau într-un muzeu decât infiltrațiile de apă care se produc în urma unei ploi și inundațiile accidentale care se pot produce în urma deteriorării unor instalații sanitare sau conducte de aprovizionare cu apă.

În timpul ploii, sau după terminarea acesteia, putem avea surpriza neplăcută să constatăm că încep să se formeze picături de apă pe tavan, în dreptul ferestrelor sau a hornurilor, care se împrăștie apoi pe mobilier, pe dușumele, sau pe diferite obiecte din cameră. Apa de infiltrație se poate prelinge pe pereți udând diferite tablouri, piese textile sau se strecoară în spatele unor dulapuri, șifoniere, putându-le afecta și pe acestea în mod direct sau indirect. Desigur că se poate interveni în diferite moduri pentru a salva situația, cu toate că și așa se pot produce pagube importante. Mai grav este însă când în spațiile respective nu se găsește nimeni care să poată interveni la timp. Infiltrațiile apei de ploaie pot fi determinate de acoperișul perforat al caselor, de unele lucruri făcute de mântuială în zidărie sau la instalarea ferestrelor. Sistemul de

acumulare și de evacuare a apei de ploaie de pe acoperiș poate prezenta unele fisuri, sau tuburile de colectare pot prezenta unele orificii. Înlăturarea acestor deficiențe trebuie realizată cu multă atenție și profesionalism după prima ploaie urmată de infiltrații de apă.

Efectul infiltrațiilor poate fi mai grav sau mai puțin grav în funcție de cantitatea de apă infiltrată și de bunurile afectate de apa acumulată. Într-o oarecare măsură efectul infiltrațiilor de apă poate fi asemănător cu cel al unei inundații accidentale provocate de fisurile unor instalații sanitare sau conducte de apă. Deteriorarea bunurilor afectate de apa de infiltrație sau de inundație este direct proporțională cu cantitatea de apă și cu timpul scurs din momentul apariției necazului până la scoaterea bunurilor materiale. Nu este cazul să detaliem aici pagubele care pot fi provocate de aceste nefericite accidente.

În ambele situații este necesară o intervenție rapidă pentru a scoate obiectele din apă și apa din camera sau camerele respective. Se recomandă aerisirea camerelor astfel încât U.R. să fie sub 100%. Obiectele de patrimoniu trebuie să fie uscate; apa să fie eliminată treptat fără a afecta structura substratului material.

### **Acțiunea apei la îngheț – dezgheț**

Densitatea cea mai mare a apei este la 4°C. Sub această temperatură densitatea scade, dar se mărește volumul, deoarece moleculele se distanțează treptat. Cel mai mare volum al apei este legat de punctul de înghețare. Volumul apei crește cu circa 1/11. Presiunea exercitată de creșterea volumului este foarte mare. Dacă apa se găsește în unele structuri poroase și elastice acestea se dilată fără a suferi deteriorări. Dacă structurile sunt poroase dar rigide apa pătrunsă poate provoca distrugerea acestor structuri. Acest proces poate fi pus în evidență la unele mortare și la roci. Presiunea executată de apa care îngheață poate să spargă un vas de sticlă închis ermetic.

Înghețul și dezghețul provoacă pagube ridicate atunci când se repetă. Structurile cedează treptat, formează spații din ce în ce mai mari pentru apa lichidă, iar aceasta prin reînghețare continuă procesul de distrugere și de fărâmițare a structurii.

Zidurile monumentelor sunt afectate de procesul de îngheț – dezgheț, iar acolo unde sunt fresce sau anumite inscripții acestea se pot deteriora.

## **Efectul de cameră umedă**

Umiditatea absolută reprezintă cantitatea de apă care se găsește în aer și este exprimată în g/mc de aer. Acest conținut în una și aceeași încăpere rămâne constant numai dacă temperatura camerei este constantă. Aceeași cantitate de apă răspândită sub formă de vapori poate avea valori diferite ale umidității în funcție de temperatură.

Să presupunem că umiditatea absolută este dată de o cantitate de 4,5 g/m<sup>3</sup> la o temperatură de -1°C. Aceeași cantitate de vapori realizează o umiditate relativă (U.R.) de 40% la o temperatură de 12°C, de 50%, la 9°C, de 65%, la 5°C, de 70%, la 4°C, de 75%, la 3°C, și de 80% la 2°C.

Una și aceeași cantitate de vapori de apă dintr-o cameră capătă valențe diferite în ceea ce privește conservarea bunurilor de patrimoniu în funcție de temperatură. (tabelul 9).

Este cunoscut așa-numitul **efect de cameră umedă**. Când intri într-o cameră închisă, fără nici un fel de curenți de aer, dar cu umiditate ridicată simți nu numai senzația apăsătoare a umidității aerului, dar și mirosul de mucegai. Poți simți umiditatea ridicată a țesăturilor, a cărților etc. efectul umidității ridicate este dezastruos în astfel de condiții.

O cameră umedă poate fi și o cameră de muzeu sau dintr-o locuință. O cameră umedă poate deveni și o cutie care se închide ermetic și în care punem spre păstrare un bun de patrimoniu.

Să presupunem că avem de trimis un obiect de patrimoniu pentru expunere la o expoziție într-un alt oraș sau o altă țară. Să zicem că trimitem prin poștă, o țesătură de bumbac într-o cutie metalică, închisă



ermetic. Împachetarea se face la temperatura camerei, de 19°C, la o U.R. de 45% (o umiditate destul de redusă). În timpul transportului cutia trece prin medii cu temperaturi variabile: mijlocul de transport, depozitele de la plecare și de la sosire etc. Încărcarea cu vapori de apă la 19°C, la o U.R. de 45% presupune existența a 7,8 g/mc. La 10°C U.R. devine 80%, iar la 7°C de 100%. Aceasta înseamnă expunerea la efectul nociv al umidității țesăturii de bumbac. Dacă perioada de înmagazinare este lungă, U.R. de 100% favorizează germinarea sporilor de mucegai, care, în condiții de umiditate ridicată și întuneric pot găsi condiții bune pentru dezvoltare, având ca suport nutritiv bumbacul.

Condiții de cameră umedă se pot realiza în diferite situații: între un tablou cu ramă groasă și perete, într-o vitrină mai mult sau mai puțin etanșă, unde se formează un microclimat care favorizează menținerea umidității.

Efectul de cameră umedă trebuie să fie bine cunoscut de specialiștii care lucrează în domeniul conservării bunurilor de patrimoniu.

### **Efectele negative ale umidității scăzute**

Umiditatea relativă a aerului este un factor ecologic foarte important, în funcție de care se poate realiza conservarea bunurilor de patrimoniu.

Desigur că umiditatea aerului trebuie să fie corelată cu temperatura, cu compoziția aerului și cu curenții de aer care se realizează într-o anumită încăpere. Efectul U.R. este diferit asupra bunurilor de patrimoniu în funcție de natura lor (cărți, țesături, icoane etc.).

**Tabelul 9.** Umiditatea absolută a aerului în diferite conjuncturi termohigrometrice (după F. Oprea, 2010)

UR \ T°C	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
33°	15,0	17,0	18,8	20,5	22,0	24,0	25,6	27,2	29,0	30,5	32,3	34,0	35,5
32°	14,3	16,0	17,8	19,2	21,0	22,7	24,2	26,0	27,4	29,0	30,1	32,5	34,0
31°	13,6	15,0	16,9	18,3	20,0	21,5	23,0	24,5	26,0	27,6	29,0	30,1	32,0
30°	13,0	14,2	16,0	17,3	18,9	20,4	21,9	23,1	24,8	26,0	27,4	29,0	30,5
29°	12,0	13,5	15,0	16,4	17,9	19,1	20,8	22,0	23,2	24,5	26,0	27,3	28,6
28°	11,5	12,8	14,0	15,5	17,0	18,2	19,7	20,9	22,0	23,2	24,6	26,0	27,0
27°	11,0	12,0	13,4	14,9	16,0	17,3	18,7	19,9	21,0	22,1	23,2	24,7	25,9
26°	10,3	11,5	12,8	14,0	15,0	16,3	17,6	18,8	20,0	21,0	22,1	23,2	24,4
25°	9,8	11,0	12,0	13,0	14,1	15,3	16,5	17,8	18,8	19,9	21,0	22,0	23,0
24°	9,2	10,3	11,3	12,3	13,3	14,5	15,7	16,8	17,8	18,8	19,9	20,9	21,8
23°	8,7	9,7	10,8	11,9	12,7	13,7	14,8	15,8	16,8	17,7	18,7	19,8	20,7
22°	8,3	9,2	10,2	11,2	12,0	13,0	14,0	14,9	16,0	16,8	17,8	18,8	19,5
21°	7,8	8,7	9,6	10,6	11,3	12,2	13,1	14,0	15,0	16,0	16,9	17,6	18,5
20°	7,4	8,2	9,1	10,0	10,8	11,6	12,3	13,2	14,0	15,0	15,8	16,6	17,3
19°	6,9	7,8	8,6	9,4	10,2	11,0	11,7	12,4	13,2	14,0	14,9	15,6	16,4
18°	6,5	7,3	8,1	8,8	9,5	10,3	11,1	11,8	12,4	13,2	14,0	14,8	15,4
17°	6,2	6,9	7,6	8,4	9,0	9,7	10,5	11,1	11,8	12,3	13,1	13,9	14,5
16°	5,8	6,4	7,2	7,9	8,5	9,2	9,8	10,5	11,1	11,8	12,3	13,0	13,7
15°	5,4	6,1	6,7	7,4	8,0	8,6	9,2	9,8	10,5	11,0	11,7	12,3	12,9
14°	5,1	5,7	6,3	6,9	7,5	8,1	8,7	9,2	9,9	10,4	11,0	11,5	12,0
13°	4,7	5,3	5,9	6,5	7,0	7,6	8,2	8,7	9,3	9,8	10,3	11,0	11,3
12°	4,5	5,0	5,6	6,1	6,6	7,2	7,7	8,2	8,7	9,2	9,8	10,2	10,8
11°	4,2	4,7	5,2	5,7	6,2	6,8	7,2	7,8	8,2	8,6	9,2	9,6	10,1
10°	3,9	4,4	4,9	5,3	5,8	6,3	6,8	7,3	7,8	8,2	8,6	9,1	9,5
9°	3,7	4,2	4,5	5,0	5,4	5,9	6,3	6,8	7,2	7,7	8,1	8,5	8,9
8°	3,4	3,7	4,2	4,7	5,1	5,5	5,9	6,3	6,8	7,2	7,6	8,0	8,4
7°	3,2	3,6	4,0	4,4	4,8	5,1	5,6	5,9	6,3	6,6	7,1	7,5	7,8
6°	3,0	3,4	3,7	4,2	4,4	4,8	5,2	5,6	5,9	6,2	6,6	7,0	7,4
5°	2,8	3,1	3,5	3,9	4,1	4,5	4,8	5,2	5,4	5,9	6,2	6,5	6,8
4°	2,6	2,9	3,3	3,6	3,9	4,2	4,5	4,8	5,2	5,5	5,8	6,1	6,4
3°	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	3,8	4,2	4,5	4,8	5,1	5,4	5,7	6,0
2°	2,3	2,5	2,8	3,1	3,4	3,7	3,9	4,2	4,5	4,8	5,0	5,3	5,6
1°	2,1	2,4	2,5	2,9	3,1	3,4	3,7	3,9	4,2	4,4	4,7	4,9	5,2
0°	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,2	3,4	3,6	3,9	4,1	4,3	4,6	4,8
-1°	1,9	2,0	2,3	2,5	2,7	2,9	3,2	3,4	3,6	3,7	4,0	4,3	4,5
-2°	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2
-3°	1,6	1,8	2,0	2,1	2,4	2,6	2,7	2,9	3,1	3,3	3,5	3,7	3,9
-4°	1,5	1,7	1,9	2,0	2,2	2,4	2,6	2,7	2,9	3,1	3,3	3,4	3,6
-5°	1,4	1,6	1,7	1,9	2,0	2,2	2,4	2,5	2,7	2,9	3,0	3,2	3,4
-6°	1,3	1,5	1,6	1,8	1,9	2,1	2,2	2,3	2,5	2,7	2,8	3,0	3,1
-7°	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9
-8°	1,1	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	2,6	2,7
-9°	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	2,4	2,5
-10°	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3
-11°	0,8	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1
-12°		0,8	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0

Efectele fizice ale U.R. se manifestă prin creșterea sau scăderea cantității de apă higroscopică dintr-un material. Creșterea cantității de apă higroscopică este favorizată de U.R. crescută și are ca efect creșterea volumului materialului expus, iar scăderea acesteia provoacă o contracție; atât creșterea volumului cât și contractarea au efecte negative asupra bunurilor de patrimoniu.

Atunci când un obiect este format din materiale diferite modificările de volum determinate de umiditatea higroscopică provoacă tensiuni între părțile componente, ceea ce se poate solda cu deformări, clivări, încrețituri etc. Unii lianți sunt sensibili la umiditate crescută și se umflă mai repede. Apa acumulată favorizează fixarea și dezvoltarea ciupercilor. Sporii de mucegai au o umiditate optimă peste 70%. Însă condițiile de dezvoltare a ciupercilor sunt mult influențate și de natura substratului. Cu cât substratul este mai higroscopic cu atât fixează mai multă apă și la valori mai reduse ale U.R. (sub 70%). Astfel se comportă hârtia, de aceea cărțile la umiditate mai ridicată devin ținta atacului mucegaiului.

La metale creșterea U.R. activează procesul de coroziune. U.R. se corelează cu alți factori: încărcarea atmosferei în gaze, depuneri de praf etc.

La valori mari ale U.R. prin condens se poate forma la suprafața metalelor o peliculă de apă, care împreună cu praful formează o soluție care va permite circulația electronilor dintr-o parte în alta mai ales atunci când suprafața metalului nu este netedă. Astfel este favorizată coroziunea metalului.

O umiditate mai ridicată a substratului determină fixarea la suprafață a unui film biologic format din bacterii și ciuperci, care provoacă o deteriorare biologică a acestuia.

Umiditatea alături de temperatură influențează reacțiile chimice și pe cele fotochimice în prezența luminii.

După cum consideră R. Feller (citată de A. Moldoveanu) procentul reacțiilor chimice crește direct proporțional cu creșterea umidității substratului.

Umiditatea are un rol foarte important în declanșarea proceselor fotochimice.

Este cunoscut faptul că celuloza este transformată de lumină, în prezența apei, în oxixeluloză. Aceasta este mai ușor degradată ulterior. Apa acționează în această situație ca un catalizator deoarece nu este consumată în reacție.

Este cunoscut faptul că umiditatea are rol și în procesele de autooxidare. Acest efect se mai numește și **efect Russell**. Poate fi înregistrat pe o placă fotografică, ca urmare a producerii unor peroxizi de hidrogen.

Umiditatea ridicată are un rol foarte important în degradarea fotochimică a pielii. Efectul este cu atât mai grav cu cât aerul este mai încărcat în poluanți. Apa poate căpăta o aciditate ridicată și afectează pielea din punct de vedere chimic. La un pH cuprins între 3 și 6 pielea are o stabilitate mare, însă în medii mai acide se produce degradarea hidrolitică a colagenului.

Am putea crede că reducând U.R. în încăperile muzeelor și ale depozitelor asigurăm condiții optime de conservare pentru bunurile de patrimoniu.

Trebuie să înțelegem însă că reducerea U.R. sub 50%, sau 40% poate provoca efecte negative unor exponate. Cunoscut este faptul că apa de constituție are valori diferite de la un obiect la altul în funcție de natura materialelor din care sunt confecționate. Hârtia, celofanul, papirusul, pielea, lemnul prezintă o anumită cantitate de apă reținută în structura lor. Toate materialele de natură organică conțin o anumită cantitate de apă care le dă elasticitate și rezistență mecanică. În condițiile în care U.R. a aerului este sub 10-40% atunci are loc un proces de deshidratare a acestora, cu efecte nocive mai mult sau mai puțin grave.

Pielea este foarte sensibilă la umiditate. Este oarecum higroscopică primind sau cedând o anumită cantitate de apă și asigurându-se elasticitatea. În condiții de umiditate redusă pielea pierde o anumită cantitate de apă, având ca efect deshidratarea colagenului, ceea ce reduce flexibilitatea; pielea devine rigidă, începe să crape și poate deveni chiar sfărâcioasă. Aceste fenomene sunt accelerate atunci când este supusă unor presiuni mecanice repetate.

Umiditatea redusă are efecte distructive asupra adezivilor, care în mod obișnuit au o cantitate mai mare de apă de constituție. Prin deshidratare acești adezivi își pierd structura, devin fărâmicioși și nu mai pot îndeplini funcția de lipire. Aceste efecte le putem pune în evidență la mobilă, în copertile unor cărți, în rezistența unor exponate afișate etc.

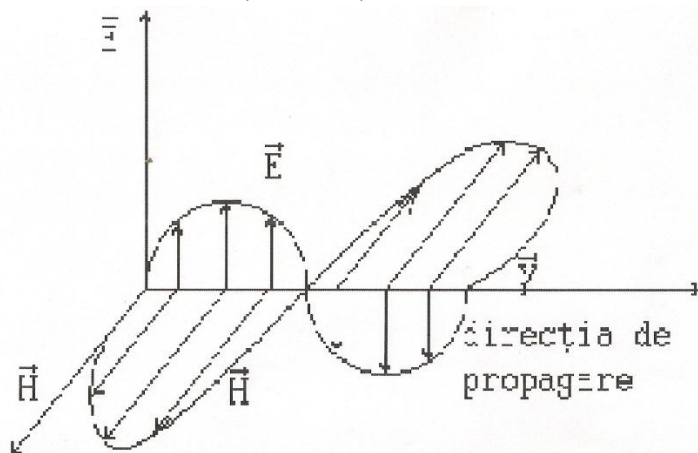
Este cunoscut faptul că o mobilă nouă dacă nu a avut scândura suficient de deshidratată (maturizată) începe să crape, să se deformeze, să apară fisuri radiale (acestea apar în funcție de esența lemnului pe anumite direcții). Cercetările arheologice pot conduce la descoperirea, în unele necropole, a unor piese foarte bine conservate de sute sau mii de ani, cum ar fi mumii, țesături, sculpturi în lemn, fildeș etc. Dacă acestea sunt scoase direct și menținute în alte condiții de umiditate și de temperatură pot să apară deteriorări rapide. Deteriorările cele mai accentuate se manifestă la bunurile de natură organică. Materialele de natură anorganică (metale, piatră, marmură) sunt rezistente deoarece nu sunt higroscopice.



# Lumina

Lumina este o formă de energie încadrată în categoria undelor electromagnetice. Prima teorie științifică cu privire la natura luminii aparține lui I. Newton (1704) și susține că sursa de lumină emite corpusculi luminoși care se propagă în virtutea inerției în linie dreaptă, cu o viteză relativ mare.

În 1790 Huggins pune bazele teoriei ondulatorii cu privire la natura luminii, iar Maxwell lansează în 1893 teoria electromagnetică a luminii, conform căreia lumina este un fenomen electromagnetic, iar unda electromagnetică este formată dintr-un câmp electric și unul magnetic, variabilă în timp și spațiu și perpendiculare între ei (fig.13).



**Fig. 13.** Vectorii unei unde electromagnetice luminoase

În 1901 Max Planck a formulat teoria cuantică a luminii, conform căreia aceasta are o structură discontinuă, sub formă de cuante de energie. În 1905 Einstein a numit fotonii, particulele de lumină care au energia egală cu o cuantă. Louis Broglie consideră, în 1924, că dualitatea undă-corpusul reprezintă o caracteristică a undelor electromagnetice.

Undele electromagnetice sunt diferite în funcție de lungimea de undă și de frecvență; astfel deosebim:

- radiații (unde) radio;
- microunde;
- radiații infraroșii;
- **radiații luminoase;**
- radiații UV;
- radiații X;
- radiații gamma.

Undele radio au importanță în televiziune, radio, telefonie mobilă, comunicare prin sateliți și au frecvențe de la câțiva kilohertzi până la gigahertzi ( $1 \text{ GHz} = 10^9 \text{ Hz}$ ). Dacă în comunicațiile submarine se folosesc frecvențe de câțiva hertzi, în cele digitale frecvențele pot fi de sute de hertzi; limita superioară fiind de 3000 GHz.

În transmisiile radio și TV se folosesc benzile:

- unde lungi: 153 – 279 KHz;
- unde medii: 531 – 1620 KHz;
- unde scurte: 2310 – 25.820 KHz;
- unde ultrascurte: 88 – 108 KHz.

În televiziune se folosesc benzile:

- Banda I (canalele 2-6): 54-88 MHz;
- Banda II (canalele 7-13): 174-216 MHz;
- Benzile IV și V (canalele 14-69): 470-800 MHz.

Toate acestea au efecte asupra bunurilor de patrimoniu.

### **Microundele**

Sunt folosite atât în comunicații cât și în cuptorul de microunde. Folosirea lor se bazează pe absorbția puternică a acestor radiații în apă și în materiile organice.

Lungimea de undă este cuprinsă între 1 mm (300 GHz) și 1 m (0,3 GHz).

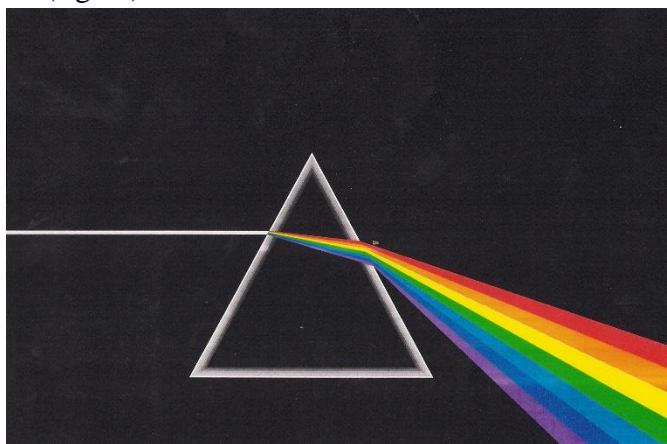


Undele milimetrice, cuprinse între 1-10 mm și cu frecvență înaltă (30-300 GHz) fac parte din energiile neionizante, care sunt puternic absorbite de vaporii de apă, de oxigenul molecular și de ozon.

Radiațiile luminoase având anumite lungimi de undă pot fi împărțite în 3 categorii mari:

- lumina vizibilă;
- raze infraroșii;
- raze ultraviolete;

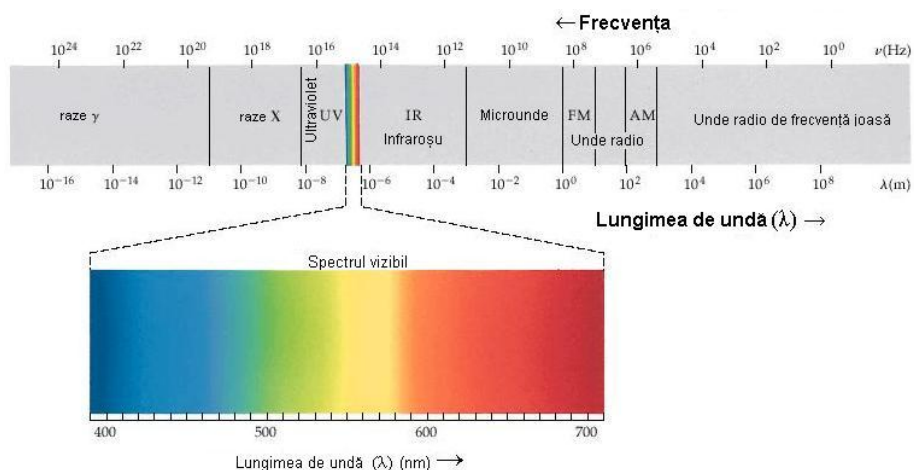
**Lumina vizibilă** formează ceea ce numim lumina albă și are o structură complexă. Este formată din raze colorate, care au lungimi de undă diferite (fig.14).



**Fig. 14.** Descompunerea luminii albe

Este vorba de ceea ce numim ROGVAIV (fig.15):

- (R) – roșu: - 620 – 760 nm;
- (O) – oranj: - 590 – 620 nm;
- (G) – galben: - 570 – 590 nm;
- (V) verde:- 495 – 570 nm;
- (A) albastru: - 450-495 nm;
- (I) indigo: - 420 – 450 nm;
- (V) violet: - 380 – 420 nm;



**Fig.15.** Spectrul electromagnetic al luminii

**Radiațiile infraroșii** au lungimi de undă cuprinse între 760 – 300.000 nm. Aceste radiații sunt folosite în analizele fizico-chimice prin spectroscopie. Se folosesc în telecomenzi pentru transmiterea la distanțe mici (televizoare, aparate casnice).

**Radiația ultravioletă** este cuprinsă între 10-380 nm. Sunt deosebit de nocive atât pentru ființele vii, cât și pentru bunurile de patrimoniu.

**Razele X (Röntgen)** sunt radiații electromagnetice cu lungimi de undă cuprinse între 0,1 și 100 Å („Angstrom”).

Prezintă următoarele caracteristici:

- se propagă cu viteza luminii;
- impresionează plăcile fotografice;
- produc fluorescență galben-verzuie a unor substanțe;
- nu impresionează retina, deci sunt invizibile;
- pătrund cu ușurință în corpul omenesc, lamele metalice cu densitate mică, lemn, hârtie, sticlă etc.;
- ionizează gazele prin care trec;
- distrug celulele vii.

**Radiațiile gamma** sunt unde electromagnetice cu lungimi de undă foarte mari, produse de ciocnirea unor particule subatomice.

Razele gamma interacționează cu materia prin care trec și afectează sănătatea (atât a ființelor cât și a bunurilor materiale).

Insistăm asupra radiațiilor electromagnetice deoarece reprezintă factori nocivi ce pot afecta sănătatea și starea bunurilor de patrimoniu.

Specialiștii consideră că radiațiile electromagnetice cuprinse între 0,5 și 2 miliGaussi (mG) nu sunt periculoase pentru sănătatea noastră și că reprezintă valoarea magnetismului natural al planetei, față de care ființele s-au adaptat.

Corpurile electromagnetice (EMF) cu valori mai mari de 2 mG sunt însă nocive.

Un calculator emite un câmp de 2-5 mG la o distanță de 30 cm; un uscător de păr de 1200 W emite 5-10 mG la 15 cm distanță, iar un televizor cu diagonala de 52 cm emite 4-5 mG. Un telefon mobil emite până la 70 mG.

Radiațiile electrotehnice pot fi împărțite în trei categorii:

1. Neionizante – curentul electric;
2. Ionizante – radiațiile  $\alpha$ ,  $\beta$  și  $\delta$  și X;
3. Vibrații mecanice.

Se consideră că tehnologia modernă bazată pe aparatură electrotehnică, poluează mediul prin emiterea de unde electromagnetice și prin eliberarea de gaze. În condițiile actuale câmpurile electromagnetice au crescut de 4-15 ori fondul natural.

Date oferite de cercetătorii din SUA, Canada, Spania și Suedia arată că la femeile care lucrează la computer în perioada sarcinii, fătul se dezvoltă anormal, cu sechele în edificarea creierului. Probabilitatea de avort spontan ajunge până la 80%.

Majoritatea radiațiilor tehnice fac parte din categoria de înaltă tensiune cu un ridicat procent de electromagnetism. Provoacă distrugerea aminoacizilor și a grăsimilor. Sunt afectate celulele nervoase care generează agitația, pierderea memoriei, depresia, probleme psihice.

Viața pe Terra depinde de Soare, lumina solară fiind principala sursă energetică. Se consideră că fluxul de radiații pe care îl emite Soarele și pătrunde în atmosfera Pământului ar fi de circa 2 calorii/cm<sup>2</sup>/minut. În trecerea lor prin atmosferă până la sol o parte din radiații sunt oprite de încărcătura atmosferei (gaze, vapori de apă, particule de praf), astfel că la nivelul solului ajung doar 67% din totalul de radiații, adică între 1,4-1,6 cal/cm<sup>2</sup>/ minut. Desigur că apar unele variații în funcție de anotimp și de altitudine.

Lumina reprezintă, pe de o parte, un factor ecologic vital pentru majoritatea organismelor, iar pe de altă parte poate deveni un factor limitant. Lumina poate avea o acțiune directă sau indirectă, asupra viețuitoarelor și chiar a corpurilor materiale inanimate. Lumina acționează prin doi parametri ai săi: intensitate și natură.

Prin intensitatea luminii trebuie să înțelegem gradul de iluminare, care poate fi diferit în funcție de anumiți factori locali ai mediului.

Organismele vii au o anumită preferință față de lumină; unele specii acceptă lumina în limite foarte largi și se numesc **eurifote**, iar altele numai în limite stricte fiind **stenofote**. Unele specii evită lumina desfășurându-și activitatea în timpul nopții, fiind **nocturne**, spre deosebire de cele **diurne** care își desfășoară activitățile în timpul zilei.

Natura luminii depinzând de lungimea de undă poate avea efecte diferite asupra viețuitoarelor, în special a plantelor în desfășurarea procesului de fotosinteză. În funcție de lungimea de undă razele de lumină pătrund mai mult sau mai puțin pe verticală într-un bazin de apă:

- radiațiile infraroșii sunt absorbite de pătura superficială a apei, până la 10 m;
- radiațiile roșii pătrund până la 15 m;
- radiațiile galbene ajung până la 100 m;
- radiațiile verzi și albastre ajung până la 250 m ;
- între 250 și 600 m în mediile marine domină o luminozitate albastră, sumbră.

În funcție de pătrunderea radiațiilor luminoase pe verticala apei are loc o stratificare a algelor, care realizează procesul de fotosinteză la nivel optim în funcție de lungimea de undă a radiațiilor luminoase.

## Sursele de lumină

De obicei în muzee se folosesc trei tipuri de surse de iluminat: becuri tungsten, lămpi fluorescente și lămpi cu halogen. Cele mai comune sunt becurile cu tungsten. În aceste becuri circa 94% din energia electrică este transformată în căldură. Datorită acestui fapt se uzează mai repede (filamentul se subțiază și se rupe). Dacă se introduce în bec iod sau un halogen atunci acesta devine mai rezistent. Becul poate fi de sticlă sau de cuarț. Sticla este mai recomandată deoarece reține razele ultraviolete cu lungimi de undă mai mică de 300 nm. Lumina poate fi produsă prin trecerea curentului electric prin vapori de mercur, neon sau prin vapori de sodiu. Dacă în spațiul interior se introduc pulberi fine, atunci se obține o lampă fluorescentă. Pulberile fluorescente absorb lumina ultravioletă cu lungime de undă mare, ceea ce prezintă importanță practică.

Lămpile fluorescente sunt reci la mijloc, însă la capete, acolo unde se găsesc filamentele se încălzesc. Datorită acestui fapt trebuie să izolăm aceste lămpi de exponate printr-un geam de sticlă.

Lămpile de halogen sau de sodiu dau o lumină galbenă, care este bună pentru conservare, însă nu și pentru activitățile umane.

În ceea ce privește poziționarea surselor de lumină artificială există trei modalități:

- iluminarea să se facă din plafon, asigurând o distanță eficientă pentru conservare;
- iluminarea să se facă prin aplicarea aplicelor pe pereți; în această situație trebuie calculată o anumită distanță față de exponate;

- sursa de iluminare poate fi fixată chiar pe obiectul expus, însă efectele distructive ale luminii cresc în mod considerabil.

Sursele de lumină sunt nocive indiferent de natura lor. Rămâne să vedem care dintre ele este mai puțin nocivă. Diferența de nocivitate poate fi dată de gradul de intensitate și de compoziția radiațiilor luminoase emise. Radiațiile cele mai nocive sunt cele din zona nevizibilă (infraroșii și ultraviolete). Nivelul de nocivitate al unei surse se stabilește prin analize spectrale.

Singura sursă care nu emite radiații invizibile este cea a lămpilor cu tungsten.

În ceea ce privește lumina naturală și cea fluorescentă au o emisiune mai puternică din spectrul albastru, indigo și violet. Deci, în acest caz raportul Albastru/Roșu este în favoarea radiațiilor albastre. Radiațiile din spectrul roșu au o energie de activare (Ea) mult mai mică.

Dacă emisiile de radiații infraroșii (IR) nu au Ea necesară pentru declanșarea reacțiilor chimice, în schimb cantitatea de căldură emisă poate deveni dăunătoare.

Alegerea surselor de lumină trebuie să se facă în funcție de:

- emisia de raze ultraviolete (UV);
- raportul A/R;
- temperatura de culoare a sursei.

**Lumina naturală** este cea mai puternică sursă de Ea datorită emisiei puternice de raze UV și de raze din spectrul albastru – indigo și violet. Această lumină nu asigură o iluminare uniformă în spațiul expoziției. Afectează puternic și ireversibil obiectele de artă datorită temperaturilor de culoare care se cumulează și dau valori mari.

**Lumina fluorescentă** reprezintă, de asemenea, o sursă de degradare foto- chimică. Se caracterizează prin:

- un preț de cost scăzut;
- slabă calitate a percepției vizuale la intensități mici: 50-200 lx;
- emisie puternică de raze UV (3,5%);

- emisie puternică în spectrul albastru-indigo și violet.

**Lumina incandescentă** se caracterizează prin:

- o bună calitate a percepției vizuale chiar și la intensități mici;
- emisia de UV este sub 0,1%.
- poate produce efecte negative dacă sursa de lumină este prea apropiată de exponate. Se pot diminua efectele negative prin ecranare cu sticlă sau prin mărirea distanței.

Bunurile de patrimoniu nu au aceeași sensibilitate față de lumină. La un nivel maxim de iluminare de 50 lx putem deosebi 3 categorii de bunuri de patrimoniu în funcție de creșterea sensibilității:

- I- bunurile de patrimoniu de natură anorganică: metale, ceramică, marmură, piatră;
- II- picturi în ulei, lacuri, vernisuri, lemn, corn;
- III- veșminte, broderii, tapiserii, cărți, documente, grafică, icoane, fildeș.

## **Influența luminii asupra organismelor**

Lumina este indispensabilă vieții; pe Terra viața nu ar fi posibilă în lipsa luminii. Și nu este vorba doar de faptul că energia solară este principala sursă de energie care face posibilă întreținerea vieții. Plantele sunt influențate în mod direct de prezența luminii deoarece, fiind organisme autotrofe, au o nutriție strict clorofiliană, depinzând de lumină. Sunt multe specii de bacterii autotrofe chemosintetice, care n-au nevoie de lumină, însă biomasa de substanță organică formată de acestea este neglijabilă în raport cu biomasa rezultată din procesul de fotosinteză clorofiliană. Cercetările au demonstrat că atât la plantele terestre cât și cele acvatice procesul de fotosinteză crește odată cu intensitatea luminii. De astfel, s-a constatat că plantele ocupă anumite habitate care corespund preferințelor lor de iluminare. În funcție de această preferință se realizează distribuția plantelor pe verticală atât în mediile terestre cât și în cele acvatice.

Animalele au comportamente diferite în raport cu lumina. În general animalele nu preferă lumina de mare intensitate. Lumina determină, în mod indirect, apariția unor ritmuri biologice care sunt esențiale în comportamentul animalelor și al plantelor.

Ritmurile sau bioritmurile biologice pot fi de două feluri: sezoniere și zilnice sau nictemerale.

Bioritmurile sezoniere sunt determinate, în esența lor, de schimbările sezoniere ale regimului de lumină.

În general marile migrații ale insectelor, crustaceelor, păsărilor și mamiferelor sunt în strânsă legătură cu fotoperiodicitatea mediului. Tocmai fotoperiodicitatea determină apariția și funcționarea așa-numitului **ceas biologic**, care poate fi surprins la foarte multe specii inclusiv la agenții biodeterioratori ai bunurilor de patrimoniu.

Pittendray (1961) și Gastings (1969) consideră că ceasul biologic este un mecanism endogen care răspunde la modificările ritmice ale mediului extern. De fapt, ceasul intern se sincronizează cu ceasul extern, semnalele externe fiind date de fotoperiodicitate. Ceasul biologic are o semnificație deosebită în viața organismelor deoarece asigură sincronizarea ritmurilor fiziologice interne cu oscilațiile intensității luminoase ale mediului extern.

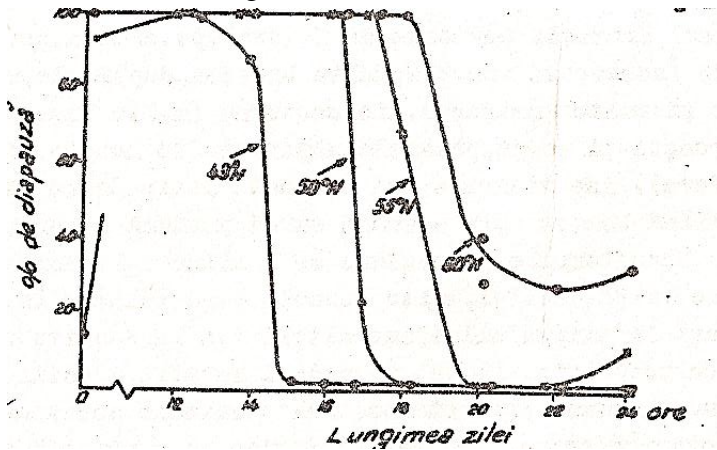
Activitatea nictemerală a organismelor este controlată tot de un ceas biologic format în cursul evoluției.

Am prezentat în paginile anterioare rolul temperaturii în apariția diapauzelor estivale sau hiemale. Lees (1955) consideră că lungimea zilei (deci perioada de lumină, fotoperioada) reprezintă un factor important în declanșarea fenomenului de diapauză. Fotoperioada declanșează intrarea în diapauză atât a insectelor de zi lungă cât și a celor de zi scurtă.

Danilevskii (1957) citat de V. Simionescu (1980) a demonstrat că la specia de fluture *Acronycta rumicis* lungimea zilei are o importanță esențială în declanșarea diapauzei. El a descoperit că în funcție de latitudine diapauza se declanșează în mod diferit: între 14,30 ore de iluminare (din 24 de ore), până la 19 ore (fig.16, V. Simionescu



p.95). Bioritmurile circadiene (nictemerale) sunt provocate de alternanța zi/noapte, indiferent de lungimea zilei.



**Fig.16.** Diapauza la diferite rase de *Acronycta rumicis*, în funcție de variațiile lungimii zilei (după Danilevskii, 1957)

Odom (1979) consideră că ritmurile circadiene reprezintă adaptări de mare finețe ale organismelor la fluctuațiile mediului ambiant.

Unele dintre speciile dăunătoare bunurilor de patrimoniu sunt lucifuge; aceasta înseamnă că în timpul zilei stau ascunse, iar noaptea devin active. În acest sens prezentăm curbele de activități circadiene a speciilor *Blatta orientalis* și *Cimex lectularius*.

Pe parcursul perioadei de activitate diurnă sau nocturnă, animalele nu sunt active în mod uniform, ci prezintă perioada de vârf, când se îndestulează cu hrană, sau realizează activități de împerechere și perioade de activitate mai reduse.

Cunoașterea ritmului de activitate a unor specii dăunătoare bunurilor de patrimoniu este de mare importanță pentru specialiștii care lucrează în domeniul conservării bunurilor de patrimoniu.

## Efectele luminii asupra operei de artă

Lumina este dăunătoare tuturor bunurilor de patrimoniu. Ea este un factor de activare a reacțiilor chimice.

Ținând cont că punerea în valoare a unui bun cultural într-un muzeu se face prin expunerea la lumină înseamnă că, în mod deliberat supunem obiectul respectiv unui „bombardament fonic” acceptând deteriorarea lui.

În laboratoarele de conservare și restaurare a bunurilor de patrimoniu se folosesc surse luminoase puternice care au efect negativ asupra substanțelor organice. Procesele declanșate sunt ireversibile. Totuși, muzeele sunt interesate să realizeze atât prezentarea cât și conservarea bunurilor de patrimoniu.

Lumina este un factor important în mărirea energiei de activare a reacțiilor chimice și biochimice, efectul depinzând de lungimea de undă, frecvența de propagare a radiațiilor luminoase.

Energia luminoasă rupe legăturile chimice ale moleculelor. Este cunoscut faptul că energia de activare ( $E_a$ ) necesară pentru ruperea legăturilor chimice variază între 35-110 kcal/ mol. Lumina poate realiza 39-70 kcal/min, ceea ce înseamnă că poate acționa ca o energie de activare.

Energia radiației luminoase depinde de lungimea de undă și de frecvență. Cu cât lungimea de undă este mai mică cu atât energia radiației luminoase este mai mare.

Radiațiile luminoase din spectrul vizibil (din lumina albă) pot declanșa desfășurarea unor reacții chimice în obiectele expuse în muzeu. La ruperea legăturilor chimice ale moleculelor mai contribuie temperatura, oxigenul, apa și alți factori.

Așa-numitul proces de **fotoliză** este generat tocmai de energia de activare a luminii, care produce degradarea unor substanțe (polimeri, adezivi, lianți, mordanți etc.).

Energia fonică (fonică) poate acționa pe mai multe căi:

- poate avea loc o reacție termică, deci de transformare în căldură;
- produce un fenomen de fluorescență;
- modifică structura moleculelor prin activare și prin combinarea acestora cu oxigenul sau cu apa;
- determină ruperea legăturilor chimice.

### **Lumina ca energie de activare (Ea)**

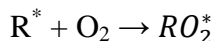
Procesele chimice provocate de lumină se numesc procese fotochimice. Este cunoscut fenomenul de fotoliză prin care unele legături chimice ale substanțelor sunt rupte de energia luminoasă.

Lumina, ca energie electromagnetică provoacă trecerea moleculelor de la o stare energetică inferioară la una superioară; starea de vibrație a moleculelor este mult activată favorizând ruperea unor legături moleculare și formarea unor legături de tip nou.

După cum precizează R. Feller, un foton absorbit de o moleculă determină activarea acesteia. De fapt, este cunoscut faptul că fiecare cuantă de lumină ( $h\nu$ ) din domeniile vizibil și invizibil determină unele reacții chimice elementare, care pot continua cu unele reacții secundare.

Reacțiile chimice elementare sau primare presupun următoarele:

- absorbția energiei radiante:  $R + h\nu \rightarrow R^*$
- formarea unui radical liber ( $R^*$ );
- unirea acestuia cu o moleculă de oxigen și formarea unui radical peroxid:



$h\nu$  = energia fotonului absorbit;

$R^*$  = moleculă activată;

După cum prezintă A. Moldoveanu (1999) citându-l pe Feller molecula activată poate urma mai multe căi de dezvoltare:

- transformarea în căldură;

- fluorescență;
- combinarea moleculei activate cu O<sub>2</sub> sau H<sub>2</sub>O;
- ruperea legăturii chimice;
- descărcarea de energie prin transferul acesteia altor molecule învecinate.

Aceste direcții pot fi schematizate și sub alte forme:

1.  $HD + h\nu \rightarrow HD^*$
  2.  $HD^* + O_2 \rightarrow HD + O_2^*$
  3.  $O_2^* + 2H_2O \rightarrow 2 H_2O_2$
  4.  $H_2O_2 + \text{celuloză} \rightarrow \text{celuloză oxidată} + H_2O$
  5.  $H_2O_2 + HD \rightarrow H_2O + HOD$  (culoare decolorată)
- HD – moleculă de culoare;  
 O\* - oxigen activat;  
 \* - stadiul de activare;

Fazele secundare ale degradării presupun participarea și a altor cuante de lumină și o creștere termică, transformările putând ajunge până la produși finali: CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, formaldehidă etc. Lumina poate determina procese de deteriorare ireversibilă, decolorarea substratului fiind evidentă în acest sens. Lumina determină, de asemenea, fragilizarea substratului organic (hârtie, țesături, picturi etc.). Mătasea este foarte sensibilă la acțiunea deterioratoare a luminii. De ținut minte: lumina poate deveni un factor nebiologic foarte distructiv; protejarea bunurilor de patrimoniu împotriva efectului distructiv al luminii trebuie să reprezinte o percepere esențială a specialiștilor din domeniul conservării bunurilor de patrimoniu.

Se poate declanșa un lanț de reacții în care pot fi implicați și alți factori:

- o activare termică secundară, care poate determina vitalizarea unor molecule;
- o decolorare (deteriorare a suporturilor);
- o fragilizare a materialelor de natură organică și nu numai;

Materialele cele mai sensibile sunt: hârtia, documentele, manuscrisele, materialele textile (veșminte, broderii, covoare, tapițerii), pielea, pergamentul, mătasea, pigmentii, vernisurile etc. Luminatul incandescent provoacă modificări fizice în structura materialelor. Sursele de lumină cele mai dăunătoare sunt cele care conțin radiații albastru-violet. Cu cât lungimea de undă a razelor de lumină crește cu atât procesul de degradare este mai mic. Astfel, o lumină roșie este mai puțin nocivă. De altfel, se știe că în laboratoarele foto se folosește lumina roșie. Se vorbește de temperatura de culoare a luminii, care se exprimă în grade Kelvin:

- temperatura de culoare a cerului albastru este de 10.000-25.000°K.
- un cer parțial noros poate avea 7.500°K;
- lămpile fluorescente (alb rece) – 4.500°K;
- lămpile fluorescente (alb cald) – 3.500°K;
- lămpi cu incandescență cu tungsten – 2.800°K;
- becurile incandescente au o temperatură de culoare mică – 2.500-3.000 °K.

Razele ultraviolete sunt cele mai dăunătoare. În conservarea pasivă a bunurilor de patrimoniu se impune reducerea atât a perioadei de iluminare cât și a intensității luminii; este ceea ce se numește **legea reciprocității luminoase**. Desigur că această lege se aplică în funcție de sursa de lumină și de natura obiectelor de patrimoniu.

Expunerea totală este direct proporțională cu timpul – legea reciprocității.

#### **expunerea totală = lx/h**

Tablourile dintr-o pinacotecă sunt afectate în aceeași măsură dacă folosim: 100 lx/1000 ore sau 1000 lx/10 ore. Deci, trebuie să urmărim corelația dintre intensitatea luminii și durata expunerii obiectelor la lumină. Trebuie să ținem cont și de natura materialelor din care sunt confecționate bunurile de patrimoniu, de culoarea lor și de felul suprafețelor luminate (lucioase sau mate, netede sau rugoase).

Bunurile materiale care conțin combinații diferite de substanțe organice și anorganice (cărți, icoane, frescă, țesături) probează o rezistență mai mare la fotodeteriorare. Este cunoscut faptul că celuloza este mai rezistentă decât hemiceluloza și lignina. Combinațiile dintre acești biopolimeri conferă grade diferite de rezistență la acțiunea nocivă a luminii. În ceea ce privește lâna este mai rezistentă decât mătasea; depinde însă de unde provine lâna, de la ce animale (oaie, capră, lamă etc.). Lâna de lamă este cea mai rezistentă.

În cazul aceluiași material (lâna) sensibilitatea față de lumină poate fi mult modificată în funcție de modul de prelucrare, de vechime, de lungimea firelor, de pigmentii folosiți pentru colorare etc.

Metalele (aurul, argintul) folosite în compoziția unor țesături nu sunt afectate de lumina din spectrul vizibil, în schimb sunt afectate de razele infraroșii.

Este cunoscut faptul că pigmentul albastru este foarte afectat de razele luminoase. Este deosebit de interesantă compoziția „albastrului de Voroneț” care a rezistat în mod miraculos impactului cu lumina timp de secole.

Specialiștii în conservarea bunurilor de patrimoniu trebuie să cunoască toate particularitățile fizice, chimice și mecanice ale materialelor din structura bunurilor de patrimoniu pentru a putea acționa în funcție de cunoaștere. Se vorbește astfel de așa-numitul **stadiu de stare** sau de **starea de stare** a bunurilor de patrimoniu, prin care înțelegem gradul de sensibilitate și fragilizare a acestora.

Rezistența la lumină a pigmentilor este diferită, în funcție de o multitudine de factori. În realizarea unei opere de artă se recomandă să fie folosiți pigmenți rezistenți, care să nu fie decolorați, pentru a asigura durabilitatea acestuia.

Prezentăm mai jos rezistența la lumină a unor pigmenți.

#### **Culori permanente**

- oxid de crom hidratat (viridian)
- oxid de crom anhidru (oxid verde de crom)
- aluminat de cobalt (albastru cobalt)

- fosfat/arseniat de cobalt (cobalt violet)
- oxizi de fier (ocruți galbeni și aurii)
- stannat de plumb (galben de plumb)
- carbonat de plumb-bazic (alb argintiu)
- oxid de titan (alb de titan, alb permanent)
- oxid de zinc (alb de zinc)

### **Culori durabile**

- cromat de bariu (galben de bariu)
- manganat sau sulfat de bariu (albastru)
- ferociamid feric (albastru persan)
- sulfiți și seleniți de cadmiu (oranj, roșu și galben de cadmiu)
- cromat de zinc (galben)
- ftalocianina de cupru (albastru monastreal)
- chinacrilone (roșu, violet)

### **Culori de durabilitate moderată**

- acetat de cupru (verde-gri)
- cromat de plumb neutru (galben de plumb)
- cromat de plumb bazic (roșu de plumb)
- movul Perkin
- eozina.

Alegerea și folosirea pigmentilor în picturi este de mare însemnătate, deoarece în funcție de pigmenți se asigură durabilitatea acestora. Astfel, galbenul de crom este foarte instabil, cinabru albastru se înverzește, iar unii pigmenți verzi devin albaștri.

Lumina este un factor esențial în deteriorarea operelor de artă prin procesul de fotoliză. De aceea tablourile expuse, realizate în ulei sau în tempera nu trebuie să primească mai mult de 150 de luși, iar pentru acuarele, gravuri, manuscrise, tapiserii limita maximă este de 50 de luși.

Lumina directă este foarte periculoasă. Într-o zi de vară razele soarelui măsoară peste 60.000 de luși, efectul asupra unor opere de artă putând fi cu adevărat nociv.

Efectul distructiv al luminii este cunoscut din cele mai vechi timpuri, din momentul în care omul a început să realizeze colecții de artă, să păstreze documente, papirusuri, cărți etc.

Se știe că hârtia este afectată de lumină; la o expunere îndelungată capătă culoare galbenă sau galben – brună. Cerneala se decolorează, astfel încât scrisorile vechi nu mai sunt lizibile. Albastrul este foarte grav afectat de lumină. Este știută decolorarea pigmentului albastru indigo. Culoarea sepia din fotografii își pierde intensitatea, fenomenul de decolorare fiind foarte intens.

Virarea culorilor este, de asemenea, un fenomen care afectează destul de grav unele bunuri culturale. Cinabrul, care este de culoare roșie, devine sub influența luminii, metacinabru care are culoare neagră. Rezinatul de cupru, de culoare verde, folosit atât de mult în pictura flamandă și în cea italiană pentru colorarea ierbii și a frunzelor, virează sub influența luminii și devine brun.

Galbenul de crom, ca de altfel și galbenul de zinc virează sub influența luminii: primul devine brun, iar al doilea se înverzește.

Este cunoscut faptul că vernisul se poate îngălbenii sau își virează culoarea. Atât albul de zinc cât și cel de titan, suferă o îngălbenire sub acțiunea razelor ultraviolete.

Obiectele de patrimoniu pot avea reacții diferite la expunerea la lumină, în funcție de natura lor (organică, anorganică, mixtă).

După gradul de stabilitate la deteriorarea fotochimică Thomson stabilește trei categorii:

- I. Nivel maxim de iluminare de 50 lx: stampe, costume, textile, piele vopsită, grafică, acuarele, clișee negative;
- II. Nivel maxim de iluminare de 150 lx: picturi în ulei, tempera, lacuri, lemn;
- III. Fără nivel maxim de iluminare: metal, marmură, piatră, ceramică.



## Măsurarea luminii

Cercetările recente demonstrează că din toate sursele de lumină soarele este cel mai distrugător bunurilor de patrimoniu; urmează lumina incandescentă, iar în ultima poziție lumina rece.

Indiferent de natura sursei, lumina alterează următoarele categorii de substanțe:

- pigmenți și materiale colorate, inclusiv cerneala;
- substanțe organice folosite ca lianți în pigmenți (grăsimi, proteine etc.);
- fibre textile de natură vegetală și animală;
- hârtia și materiale pe bază de celuloză;
- pielea;
- pergamentul;
- lemnul.

Materialele de natură anorganică sunt mai puțin alterate: metale, marmură, piatră, sticlă.

Nu trebuie să ținem cont doar de intensitatea luminii, ci și de compoziția radiațiilor.

Măsurarea luminii se poate realiza prin diferite categorii de aparate:

**Luxmetrul**, care măsoară lumina în lucși, însă nu măsoară radiațiile U.V. care sunt cele mai dăunătoare. În muzee se pot folosi cu o deosebită eficiență diferite luxmetre moderne între care menționăm: MAVOLUX 5032C/B (fig.17).

MAVOLUX 5032C poate măsura cele mai puternice surse de lumină, fără alte accesorii.

MAVOLUX 5032B prezintă o înaltă precizie pentru măsurarea luminii.



**Fig. 17.** Luxmetrul

Luxmetrele pot fi:

- simple, pentru măsurarea luminii vizibile;
- cu senzori, pentru măsurarea IR și UV.

Luxmetrul poate măsura fluxul luminos, intensitatea luminoasă și radiațiile fotosintetic active.

Trebuie să se cunoască exact cauza degradării. Este posibil ca pictura să fie deteriorată datorită suportului necorespunzător, a substratului de preparare folosit sau a pigmentilor.

## Încărcarea microbiologică a aerosolilor

Aerul este încărcat până la refuz cu aerosoli. Este și firesc deoarece curenții de aer poartă din loc în loc cantități uriașe de praf anorganic și organic, alături de numeroase specii de microorganisme (bacterii, fungi, alge etc.) care sunt sub formă de spori sau alte forme de rezistență. Între microorganisme se găsesc și nenumărate specii de agenți biodeterioratori.

Favali et al. (2003) au realizat o analiză biologică a aerosolilor. Au efectuat culturi de microorganisme, cercetări microscopice, au folosit metode biochimice, imunologice și moleculare și au identificat speciile care pot să afecteze, prin prezența lor, bunurile de patrimoniu.<sup>7</sup>

Așa cum am mai prezentat în această carte, microorganismele sunt purtate, sub formă de aerosoli în atmosferă, de la un pol la altul și până la înălțimi de mii de metri. Pot rezista ani sau zeci de ani până găsesc condiții optime de viață și își reiau activitatea biologică. Sub formă de spori sau sub diferite forme de anabioză pot supraviețui și condițiilor extreme de mediu. Astfel, Gallo F. et al. (2003) au constatat în cercetările lor că perioada de supraviețuire a unor spori variază de la o specie la alta în condiții extreme de temperatură și lipsa de umiditate; au fost urmăriți sporii unor fungi:<sup>8</sup>

- *Rhizopus nigricans* – 22 ani
- *Aspergillus oryzae* – 22 ani
- *Aspergillus versicolor* - 2 ani și 8 luni
- *Aspergillus flavus* – 12 ani

---

<sup>7</sup> Favali M.A., Gallo F., Maggi O., Mandrioli P., Pacini E., Pasquariello G., Piervittori R., Pietrini A.M., Ranalli G., Ricci S., Roccardi A., Sorlini C., 2003, *Analysis of the biological aerosol*, In *Cultural Heritage and Aerobiology*, Edited by Mandrioli, Giulia Caneva and Cristina Sabbioni, Kluwer Academic Publishers, p.145-172.

<sup>8</sup> Gallo F., Pasquariello G., Valenti P., 2003, In *Cultural Heritage and Aerobiology*, Edited by Mandrioli, Giulia Caneva and Cristina Sabbioni, Kluwer Academic Publishers, p.173-193.

- *Aspergillus fumigatus* - 15 ani
- *Aspergillus glaucus* – 15 ani

În analizele efectuate, Favali et al. 2003 au identificat următoarele specii dintre bacterii:

**Bacterii autotrofe:**

- **Bacterii chemoautotrofe sulfoxidante:** *Thiobacillus*, *Thiomicrospira*, *Beggiatoa*.

- **Bacterii nitrificante:** *Nitrosomonas*, *Nitrococcus*.

**Bacterii heterotrofe:**

- **Bacterii proteolitice:** *Pseudomonas*, *Sarcina*, *Bacteroides*.

- **Bacterii celulozolitice:** *Cytophaga*, *Sporocytophaga*, *Sorangium*, *Vibrio*, *Cellvibrio*, *Cellfalcicula*.

- **Bacterii amilolitice:** *Bacillus*, *Clostridium*.

- **Bacterii lipolitice:** *Bacillus*, *Alcaligenes*, *Staphylococcus*, *Clostridium*.

**Fungi**

- **Celulozolitici:** *Trichoderma reesei*, *T.viride*, *Fusarium solani*, *Penicillium pinophilum*, *Phanerochaete chrysosporium*, *Mucor*, *Mortierella*, *Rhizopus*;

- **Ligninolitici:** *Fusarium*, *Aspergillus*.

- **Proteolitici:** *Arthroderma*, *Nannizoa*, *Trichophyton*, *Microsporium*

- **Lipolitici:** *Geotrichum*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Candida*.

**Cyanobacterii:** *Aphanocapsa*, *Calothrix*, *Chlorogloea*, *Chroococcus*, *Gloeocapsa*, *Gloeotheca*, *Lyngbya*, *Merismopedia*, *Myxosarcina*, *Nostoc*, *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Plectonema*, *Schizothrix*.

**Alge:**

*Chlorophyta:* *Cosmarium*, *Oocystis*, *Protococcus*, *Scenedesmus*, *Stichococcus*, *Aphanocapsa*.

**Licheni:** *Xanthoria elegans*.

Desigur că formele de rezistență ale acestor specii se depun pe diferite bunuri de patrimoniu, iar în momentul în care condițiile de mediu devin optime pentru dezvoltare revin la viață și încep un nou ciclu biologic.

Este impresionant cât de mare este numărul de specii de fungi care au fost identificate în aerosolii din unele biblioteci și arhive, potențial agenți biodeterioratori ai bunurilor de patrimoniu (Gallo et al., 2003).

**Tabel 10.** Specii de fungi întâlnite în aerosolii din biblioteci și arhive, care atacă bunuri de patrimoniu (adaptat după Gallo et al., 2003)

Fungi	Hârtie și carton	Piele	Pergament	Substanțe adezive vegetale și animale	Materiale sintetice	Țesături	Ceara de sigiliu	Fotografii	Benzi magnetice	Cerneală
<i>Alternaria</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
<i>Aspergillus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Aureobasidium</i>	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-
<i>Cephalosporium</i>	+		+	-	-	+	+	-	-	-
<i>Chaetomium</i>	+	+	+	-	+	+	+	+		-
<i>Fusarium</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
<i>Penicillium</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Trichoderma</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
<i>Trichothecium</i>	+	+	-	-	+	-	-	+	-	-



## Îmbătrânirea obiectelor de patrimoniu și atacul agenților biodeterioratori

Este cunoscut faptul că lemnul este cu atât mai mult atacat de insectele xilofage cu cât este mai vechi. Explicația ni se pare acum logică, fiind cunoscut faptul că animalele, deci și insectele xilofage, nu posedă enzime celulozolitice; ca urmare nu pot digera celuloza. Totuși, multe specii de animale sunt xilofage (se hrănesc exclusiv cu lemn, deci cu celuloză).

Digerarea celulozei este posibilă datorită faptului că astfel de animale trăiesc în simbioză cu microorganisme celulozolitice; acestea degradează celuloza oferind gazdei cantități mari de carbohidrați, în special glucoză. Cu cât lemnul îmbătrânește cu atât este supus atacului unor microorganisme celulozolitice, făcându-l mai ușor accesibil unor organisme xilofage. Deci, îmbătrânirea lemnului deschide poarta acțiunii agresive a unor specii xilofage. Relația dintre îmbătrânirea unor substraturi organice și acțiunea unor agenți biodeterioratori este mai generală. Se pare că îmbătrânirea tuturor produșilor de natură organică înlesnește atacul unor agenți biodeterioratori.

Patina, sau biopatina care se formează pe obiectele de patrimoniu atestă o anumită vechime a acestora. Biopatina provoacă degradarea microbiologică a bunurilor de patrimoniu, însă, în anumite etape procesul de degradare se desfășoară lent, atât de lent, încât putem considera că aceasta are mai mult un efect protector, deoarece biopatina protejează substratul împotriva unor agenți biodeterioratori mai nocivi.

Seves et al. (1999) au efectuat ample cercetări în care au urmărit afinitatea unor microbiote pentru obiectele de patrimoniu îmbătrânite.<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> Seves Anna Maria, Maria Romano, Tullia Maifreni, Alberto Seves, Giovanna Scicolone, Silvio Sora și Orio Ciferri, 1999, *A laboratory investigation of the microbial degradation of cultural heritage*. In of Microbes and art. The role of

Pentru a testa preferința microbiotei pentru substraturile îmbătrânite s-au efectuat unele experimente în care s-a produs o îmbătrânire artificială a unor picturi și a unor mostre de țesături de mătase, folosind căldura umedă, raze ultraviolete și lămpi de xenon, care au fost expuse atacului unor microbiote.

Pe suporturile cu picturi învechite au însămânțat sporii unor specii de bacterii: *Bacillus amyloliquefaciens*, *B. pumilus*, *Pseudomonas maltophilia* și *Variovorax paradoxus*. Dintre speciile de fungi au fost însămânțați spori de *Aspergillus niger* și *Penicillium chrysogenum*. Speciile *Bacillus amyloliquefaciens* și *Pseudomonas maltophilia* au crescut abundent și au devenit dominanți; *Variovorax paradoxus* a crescut până la limita de extindere, iar *Bacillus pumilus* nu a reușit să se fixeze și să crească.

Picturile simulate au fost tratate termic la 1050°C, la întuneric fiind ținute între 144 și 700 de ore, ceea ce ar corespunde unei îmbătrâniri naturale de 37 până la 171 de ani. Tratatamentul termic a crescut capacitatea de colonizare a speciilor de *Arthrobacter aurescens*, *Bacillus megaterium*, *Chryseomonas luteola* și *Variovorax paradoxus* pe substratul de mătase îmbătrânită.

Pe substratul de mătase îmbătrânită s-au fixat și s-au dezvoltat speciile de fungi: *Aspergillus niger*, *Cladosporium ssp.* și *Penicillium chrysogenum*.

Trebuie să înțelegem că mătasea neprelucrată (un amestec de sericină și fibroină) reprezintă un suport nutritiv pentru unele microorganisme din sol. Aceste microorganisme produc un biofilm pe fibrele proteice. Totuși, pe fibroina îmbătrânită se dezvoltă mult mai bine. De asemenea, colonizarea microbială de pe picturile simulate și îmbătrânite artificial este considerabil mai mare.



Dezvoltarea coloniilor de *Bacillus amyloliquefaciens* și *Pseudomonas maltophilia* s-au fixat și dezvoltat rapid pe picturile simulate. În primele 8 zile a avut loc o ascensiune spectaculoasă a numărului de bacterii, de la  $10^2$  la  $10^6$  indivizi pe  $\text{cm}^2$ . În următoarele 7 zile a avut loc o creștere mai redusă, de la  $10^6$  până la  $10^7$ , apoi a urmat declinul.

Fungii s-au comportat oarecum asemănător crescând în primele zile de la  $10^2$  la  $10^7$  pe  $\text{cm}^2$ , urmând apoi o creștere mai lentă și declinul firesc.

Experimentele efectuate au demonstrat că fungii cresc mai ușor pe fibrele de mătase îmbătrânită artificial decât pe cele neîmbătrânite.

Seves et. al (1998) a constatat că o specie de *Verticillium* este capabilă să crească într-un mediu în care fibroina este singura sursă de carbon.<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> Seves Anna Maria, Maria Romano, Tullia Maifreni, Silvio Sora, Orio Ciferri, 1998, *The microbial degradation of silk: a laboratory investigation*, Int. Biodeterioration and Biodegradation, 42:121-134.



## Biofilmele bunurilor de patrimoniu, sau patina timpului

Așa-numita **patină** a obiectelor de artă certifică vechimea acestora. Putem vorbi de o așa-zisă **patină nobilă**, care crește considerabil valoarea bunurilor de patrimoniu, dar asigură uneori și o rezistență deosebită la acțiunea deterioratoare a factorilor de mediu.

Patina nobilă a mobilierului este dată atât de culoarea modificată, cât și de urmele de atac al unor insecte xilofage (Anobiidae, Lyctidae, Curculionidae, Cerambycidae etc.). Este vorba de urmele atacului insectelor xilofage, nu de atacul activ al acestora.

Trebuie să înțelegem că orice **substrat** (organic sau anorganic) poate reprezenta un mediu de viață pentru unele ființe. Substratul nu reprezintă doar un suport pe care se pot fixa diferite microbiote; el prezintă, de cele mai multe ori, o sursă de hrană și de energie, care favorizează creșterea și dezvoltarea microorganismelor. Deci, obiectele de patrimoniu pot servi în același timp ca suport de fixare pentru microbiotă, dar și ca mediu de viață. Indiferent de natura substratului (sticlă, piatră, marmură, hârtie, piele, fibre vegetale sau animale), obiectele de patrimoniu sunt populate de o serie de microorganisme (bacterii, ciuperci). Acestea nu doar că se lipesc de substrat folosindu-l ca suport, ci pot realiza o interacțiune cu acesta. În felul acesta substratul devine un biotop, pe care se instalează o biocenoză (microbiocenoză) dând astfel naștere unui ecosistem. Așa cum palmele noastre reprezintă un mediu de viață pentru bacterii și nu numai, tot așa și suprafața obiectelor de patrimoniu reprezintă un mediu de viață pentru microbiote.

Comunitățile microbiene pot veni în contact direct cu atmosfera sau cu apa (în cazul obiectelor de patrimoniu imersate în apă). Microorganismele fixate pe substrat capătă aderență la acesta printr-o serie de substanțe extracelulare (SEP) sintetizate de celule în acest sens.

Se realizează astfel, la suprafața substratului o peliculă de microorganisme care intră în interacțiune atât între ele, cât și cu substratul. Se formează un **film biologic** (biofilm). Biofilmul care vine în contact direct cu aerul prezintă circa 79% de substanță organică de natură microbiologică. Biofilmele care se formează pe obiectele imersate în apă se fixează tot prin SEP, însă procentul cel mai mare este de apă.

Pe suprafața unui substrat putem pune în evidență colonii de microorganisme care formează filme biologice. Aceste colonii bine localizate formează cu substratul cele mai mici ecosisteme posibile, numite **bioskene**.

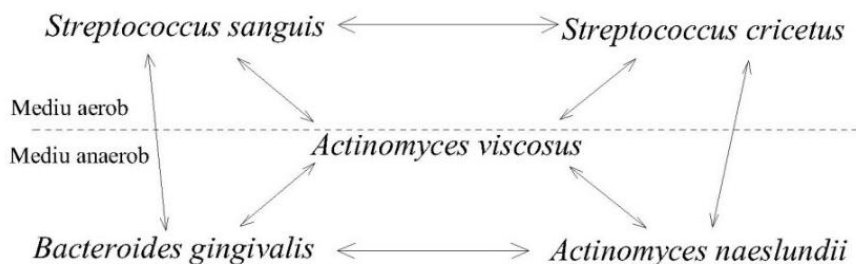
Termenul de bioskenă a fost introdus în ecologie de eminentul zoolog și ecolog Andrei Popovici Bâznoșanu (1937), pentru a individualiza cele mai mici formațiuni care îndeplinesc funcția de ecosistem. Astfel, pe suprafața unei frunze se poate fixa o colonie de afide. Acestea intră în interrelații cu unele furnici, care le consumă excrementele și care le apără de unele specii prădătoare. În populația de afide se mai pot găsi larve de Syrphidae și de Chamaemyidae (Diptere), adulți și larve de Coccinellidae, care se hrănesc cu afide, sau Aphidiidae, care parazitează afidele. Acest complex de specii formează biocenoza bioskenei, iar frunza formează biotopul acestui ecosistem.

Bacteriile din cavitatea bucală formează bioskene pe plăcile dentare. Dinții sunt acoperiți de un strat subțire de mucină, secretată de glandele salivare. Pe această peliculă fină se fixează așa-numitele bacterii autohtone care trăiesc comensal în cavitatea bucală. Bioskena-placa dentară nu este altceva decât un film biologic, un biofilm.

Ceea ce este important de reținut este faptul că speciile de bacterii de pe placa dentară diferă, în mod obișnuit, de alte bacterii care tranzitează cavitatea bucală, unele putând fi patogene. Acestea nu se pot fixa pe placa dentară deoarece spațiul este ocupat de bacteriile bioskenei; în felul acesta se asigură protecția organismului.

După cum putem observa în figura 18 pe pelicula de mucină fixată pe placa dentară se așează diferite specii de bacterii ocupând

întreg spațiul, nepermițând altor bacterii să se fixeze pe aceasta. Ele intră în competiție, bioskena funcționând ca un tot unitar. Când pelicula de mucină este fină pe placa dentară se fixează numai specii de bacterii aerobe. Dacă pelicula devine groasă, oxigenul nu mai pătrunde până la bază, așa că se formează un strat anaerob de mucină, care va fi ocupat de bacterii anaerobe.

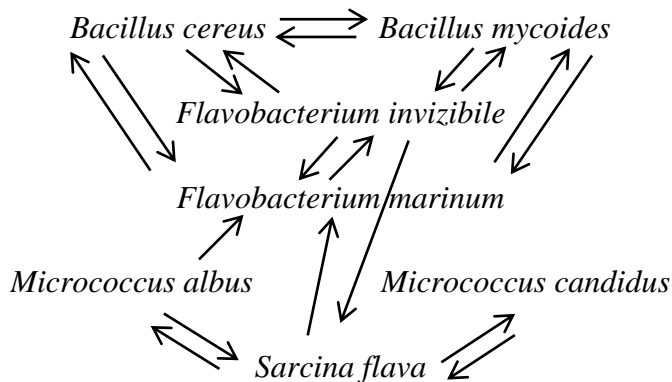


**Fig. 18.** Bioskena placa dentară

Bioskena placa dentară, are acțiuni atât negative cât și pozitive asupra gazdei. Cele negative sunt date de creșterea biomasei de bacterii și apariția unor substanțe urât mirositoare, iar efectul pozitiv este dat de faptul că placa dentară fiind ocupată de bacterii comensale (autohtone) nu ar putea să se fixeze și unele bacterii patogene, care ar pune în pericol gazda.

Astfel de bioskene se pot instala pe toate obiectele de patrimoniu de natură organică sau anorganică. Astfel tablourile, icoanele, frescele și în general vopsele întinse în pelicule mai fine sau mai grosiere sunt supuse atacului microbiologic, putând provoca biodegradarea acestora; apariția unor pete de culoare, crăpături, exfolieri etc.

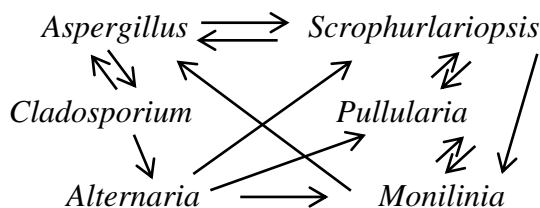
Aceste suporturi vopsite reprezintă biotopuri excelente pentru bacteriile și ciupercile care atacă vopselele. Substratul este acoperit în totalitate de microbiote, astfel că se formează un film biologic continuu, care este format dintr-o multitudine de bioskene diferite, în funcție de natura pigmentilor pe care se fixează (fig.19).



**Fig. 19.** Bioskena caracteristică pentru picturile în ulei

În aceeași măsură sticla poate deveni suport și biotop pentru unele microbiote. Sticla are o anumită compoziție chimică, dar este acoperită de praf și de unele substanțe organice, astfel că poate oferi bacteriilor o gamă complexă de substanțe. Bacteriile și fungii acționează asupra sticlei degradând-o; provocând apariția unor leziuni, pierderea luciului etc.

Între organismele care acționează asupra sticlei provocându-i biodegradarea, ca urmare a formării unui film biologic permanent, a unor bioskene caracteristice, menționăm: *Aspergillus*, *Alternaria*, *Pullularia*, *Monilia* etc. (fig.20)

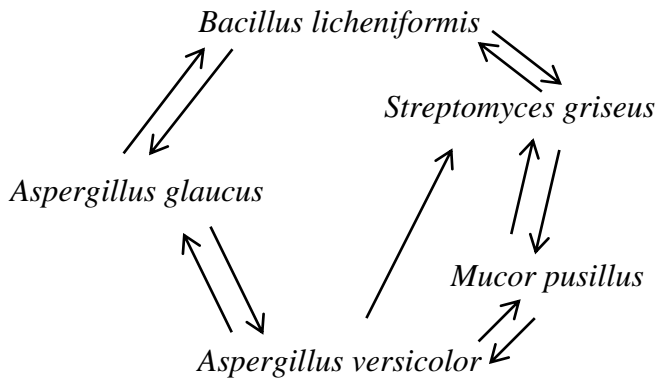


**Fig. 20.** Bioskena care are ca suport sticla

Țesăturile (din fibre vegetale sau/și animale) oferă un complex de substanțe organice care devin ținta atacului unor bacterii și ciuperci.

Atacul este mult influențat de temperatură și de umiditate. Pe suprafața țesăturilor se instalează o microbiotă care formează biofilme care pot funcționa zeci sau chiar sute de ani, sub formă de patină biologică, în condiții de temperatură și de umiditate oarecum constante.

Microbiota care acționează asupra țesăturilor vegetale este formată din bacterii și fungi (fig.21). Desigur că atacul este favorizat de conținutul bogat în hidrocarbonați, de temperatură și de umiditate.



**Fig. 21.** Bioskena caracteristică pentru țesături vegetale

Noi prezentăm aici structura unor bioskene, însă trebuie să înțelegem că acestea se asociază formând consorții, biochorioane, sau merocenoze, care atunci când cuprind în totalitate bunul de patrimoniu reprezintă patina biologică (așa cum vom vedea în cele ce urmează).

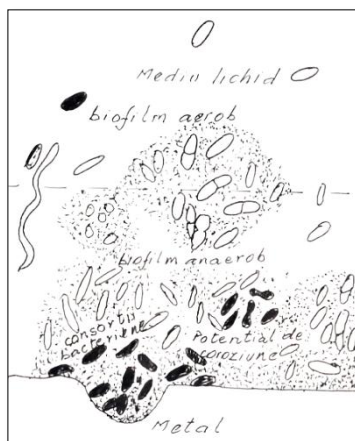
Nimic nu este nepieritor, nimic nu se poate sustrage acțiunilor distructive ale mediului, fie ele fizice, chimice sau biologice. Este și firesc atât timp cât în natură funcționează un uriaș circuit bio-geo-chimic.

Metalele, care par a fi nemuritoare, sunt supuse unui proces complex de coroziune determinat de factori fizici, chimici și biologici. Multă vreme nu s-a dat importanță factorilor biologici care provoacă biodeteriorarea metalelor.

Este cunoscut faptul că metalul capătă o anumită patină a timpului. Este vorba, în fond, de oxidarea naturală sau artificială a metalelor; bronzul se acoperă cu un strat de carbonat de cupru de culoare verzuie. Este cunoscută blocarea bacteriană a conductelor de apă determinată de dezvoltarea exponențială a unor bacterii filamentoase, precum *Crenothrix polyspora*. Conductele de fontă prezintă un proces de grafitizare ca urmare a acțiunii bacteriilor.

Bacteriile care se fixează pe suprafața unor metale creează medii diferite (aerobe sau anaerobe) care determină procesul de coroziune a metalelor. O astfel de acțiune pot avea și unele alge. Este știut că *Gallionella ferruginea* oxidează Fe feros la Fe feric, ceea ce conduce la precipitarea hidroxizilor ferici sub formă de tuberculi. Suprafața acoperită cu tuberculi devine favorabilă unui proces de coroziune intensă, ceea ce conduce la perforarea conductelor.

În fig. 22 putem urmări modul în care are loc formarea unor regiuni aerobe și anaerobe în structura unui biofilm matur de pe suprafața metalelor. Citându-i pe Blenkinsopp și Costerton (1999), G. Zarnea ilustrează acțiunea bacteriilor în mediul aerob la suprafața metalului și în mediu anaerob în profunzime.



**Fig. 22.** Reprezentarea schematică a modului de formare a regiunilor aerobe și anaerobe în structura unui biofilm anaerob pe suprafața metalelor



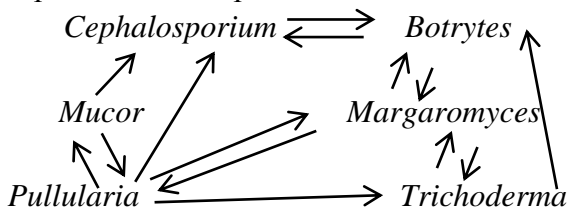
Acceptând circuitul bio-geo-chimic ca un proces fundamental la nivelul naturii trebuie să înțelegem că totul suferă transformări.

Vigne, J.P.D., citat de Zarnea (1994) afirma că: „Bacteriile „mănâncă” rocile, secretând acizi care disociază elementele minerale introducând în mediu acizi organici, capabili să formeze complexe de diferiți cationi metalici.”

Multă vreme s-a considerat că degradarea rocilor in situ se datorează exclusiv factorilor fizico-chimici. Realitatea este că în procesul de degradare a rocilor un rol important îl au și bacteriile.

Krumbein (1972) a demonstrat că microbiota poate fi antrenată de o serie de substanțe organice care se fixează pe roci; are loc proliferarea și apoi desfășurarea unor procese de biodeterioare a acestora.<sup>11</sup>

În fig.23 prezentăm un tip de bioskenă caracteristică pentru roci.



**Fig. 23.** Bioskena caracteristică rocilor

Microorganismele care formează patina biologică sunt, în mod obișnuit, **poikilotrofe**. Acestea se găsesc permanent în mediu, supraviețuind chiar și în mediile cele mai neprielnice, în cele care prezintă modificări majore în timp. Pot trăi în medii oligotrofe și eutrofe. Microorganismele poikilotrofe au o creștere foarte lentă. Fixate fiind pe diferite substraturi pot înlătura unele specii cu dezvoltare rapidă, care sunt foarte dăunătoare.

<sup>11</sup> Krumbein, W.E., 1972, *Role de microorganismes dans la g n se, la diagn se et la d gradation des roches en place*, Rev. Ecol. Sol., 9:283-319.

Gorbushina și Krumbein (1999) au descoperit că pe monumentele antice grecești și romane patina biologică este formată din microorganisme poikilotrofe, care rezistă la condiții de viață extreme (temperaturi ridicate, lipsa apei etc.). Prin această capacitate a lor, prin supraviețuirea în condiții extrem de neprielnice contribuie la eliminarea speciilor care au nevoie de medii mai prielnice.<sup>12</sup>

Prin fixarea lor pe substrat microorganismele poikilotrofe exercită o puternică presiune asupra acestuia. Este vorba de o presiune mecanică, exercitată de pereți celulari, de o presiune chimică exercitată de compușii polimerici extracelulari și de diferiți metaboliți și de depunerea unor pigmenți care modifică culoarea substratului. Când condițiile de mediu sunt mai mult sau mai puțin constante, speciile poikilotrofe care formează patina biologică pot fi menținute sute sau chiar mii de ani într-o stare de stabilitate fără a produce pagube bunurilor de patrimoniu. Se cunoaște efectul patinei biologice în protecția unor obiecte de artă sau de cult care au fost descoperite în diferite necropole, în piramide sau în peșteri, deci în medii în care condițiile au fost mai mult sau mai puțin constante.

Thomas Dornieden, Anna Gorbushina și W.E. Krumbein (2000) considerau că *„interacțiunea microbiotei, care persistă pentru intervale mai lungi de timp, cu obiectele de artă, dar fără a acționa distructiv, poate ajuta la protejarea patrimoniului cultural. Organismele care tind să se mențină în viață timp de sute sau chiar mii de ani, nu întotdeauna și nu imediat nu reprezintă un factor de deteriorare. Se poate vorbi despre o creștere raportată la o scală de tip geologic, care se suprapune cu scalele de timp ale patrimoniului cultural, cel puțin în cazul obiectelor de artă preistorice.”*

---

<sup>12</sup> Gorbushina, A.A., Krumbein, W.E., 1999, *The poikilotrophic microorganisms and its environments*. Microbiol. Strategies of establishment, growth and survival. In Enigmatic microorganism and life in extreme environments. J.S.Eckbach (ed.), Kluwer, Dordrecht, 177-185.

Sun și Friedmann (1999) pun în evidență rolul microorganismelor poikilotrofe în protecția unor roci. Patina biologică, mai ales atunci când este stabilizată, reprezintă semne ale unui hiatus în procesul de deteriorare, ce poate fi privit ca cel mai bun ajutor pentru restauratori. Desigur că, în această situație culoarea realizată de patina biologică trebuie să fie acceptată ca atare.<sup>13</sup>

Krumbein (1966) a sugerat că biofilmele pigmentate au acțiune protectoare, modificând reactivitatea suprafeței obiectelor de patrimoniu.<sup>14</sup>

Pornind de aici, ne dăm seama că trebuie să analizăm cu multă atenție și precauție patinele biologice și să le tratăm în funcție de starea lor reală. Patina biologică poate avea, în anumite cazuri un rol de protecție, în funcție de suportul material, de comunitățile microbiene ale filmului biologic și de factorii de mediu.

După cum apreciază Brachert (1995) și Toyka (1996) patina biologică reprezintă o modificare a suprafeței substratului (biodeteriorativă sau parțial protectoare), care asigură un schimb material și energetic între două sisteme deschise și heterogene: substratul solid (piatră, sticlă, pictură, lemn, piele, hârtie, pergament etc.) și mediul înconjurător (aer sau apă). Biotransferul își poate întrerupe acțiunea pentru anumite intervale de timp (zeci sau chiar sute de ani), atunci când se realizează un echilibru. Dacă sistemul este scos din echilibru patina se poate activa și devine distructivă.

Desigur că patina biologică poate produce unele modificări privind pigmentația, compoziția și chiar morfologia substratului, afectând și valoarea estetică a suprafeței obiectului de artă. Formarea patinei întârzie un proces de îmbătrânire (atunci când acest proces

---

<sup>13</sup> Sun, H.J., Friedmann, W.E. 1999, *Growth on geological time scales in the antarctic cryptoendolithic microbial community*. Geomicrobiol. J., 16: 193-202.

<sup>14</sup> Krumbein, W.E., 1966, *Zur Frage der Gesteinsverwitterung (Über gechemische und mikrobiologische Bereiche des exogenen Dynamik)*. Inaugural dissertation, Universität Wuezburg.

durează sute sau chiar mii de ani sistemul material și energetic format prezintă o importanță deosebită).

Formarea patinei biologice duce la o îmbătrânire lentă, total diferită de îmbătrânirea care conduce la descuamare, exfoliere, sfărâmare și dezintegrare majoră.

După cum consideră Dornieden, Gorbushina și Krumbein (2000) îmbătrânirea lentă se caracterizează prin:

- procese fractale pozitive și negative;
- modificări biochimice ale formațiunilor neominerale sau distrugere minerală;
- factori biologici de descreștere a presiunii apei și modificări de densitate a acesteia;
- modificarea redox a ionilor și a elementelor, ceea ce conduce la o accelerare a proceselor de schimb biologice, chimice și fizice.

Formarea patinei biologice se poate opri atunci când aceste procese dinamice ajung la echilibru. Patina biologică odată formată poate fi considerată ca o fază statică în procesul de îmbătrânire și deteriorare a bunurilor de patrimoniu. se ajunge astfel la ceea ce dorim noi mai mult în ceea ce privește stabilitatea obiectelor de patrimoniu. După cum considera Gorbushina (1997) și Gorbushina și col. (1999) biostabilitatea suprafețelor obiectelor de patrimoniu este asigurată de microorganismele poikilotrofice, care au creșterea lentă și înlătură microorganismele cu creștere rapidă și cu efect distrugător.<sup>15</sup>

Astfel de structuri se cunosc de foarte multă vreme, însă nu li s-a dat importanța cuvenită deoarece nu era cunoscută semnificația lor biologică. Este vorba de ceea ce se cunoștea ca fiind o patină a lucrurilor.

Acum înțelegem că patina lucrurilor, sau patina biologică (biopatina) reprezintă toate modificările care apar la suprafața obiectelor de artă. Este vorba de modificările produse de filmul biologic în contact

---

<sup>15</sup> Gorbushina, A.A., 1997, *Biological properties of marbal deteriorating fungi*. Ph. D. thesis, St. Petersburg.

cu substratul. Patina sau biopatina reprezintă interacțiunea dintre filmul biologic și substrat. Ce reprezintă însă filmul biologic? Am vorbit de bioskene. Prin ele am pus în discuție cele mai mici formațiuni ecologice care îndeplinesc funcția de ecosistem. O bioskenă microbiologică poate ocupa o suprafață extrem de redusă: un grăunte de nisip, o placă dentară, o mică pată de culoare dintr-un tablou etc.

Lucrurile se complică atunci când mai multe bioskene se asociază și formează un complex de bioskene. Un complex de bioskene formează din punct de vedere ecologic un **consorțiu** sau **biochorion**. Cum în cavitatea bucală sunt mai mulți dinți, care funcționează în același timp și în condiții mai mult sau mai puțin asemănătoare trebuie să considerăm că dentiția împreună cu complexe formate de microbiote reprezintă un consorțiu sau biochorion.

Astfel de complexe ecologice putem întâlni la multiple obiecte de patrimoniu. O coroană, o tiară sau un șirag de mărgele, un coif metalic sau o carte, o broderie sau un veșmânt poartă patina timpului. Punând un astfel de diagnostic nu facem altceva decât să recunoaștem că toate aceste obiecte pot fi supuse acțiunii unor filme biologice, că biopatina și-a pus amprenta asupra obiectelor de patrimoniu.

Un tablou mare, sau o frescă, asigură suportul pentru nenumărate bioskene (mii, zeci de mii). Acestea se asociază în nesfârșite consorții, care, sunt integrate în patina operei respective de artă. Patina întregului tablou ar putea fi asemănată cu un biom din natură care însumează nenumărate ecosisteme asemănătoare.

Trebuie să înțelegem că biopatina chiar dacă afectează unele bunuri de patrimoniu, în cele mai multe cazuri le și protejează. Biocenozele bioskenelor au o anumită structură și sunt durabile; se comportă asemenea unor biocenoze ajunse la stadiul de maturitate, de **climax**. Acestea nu mai permit modificări majore structurale și funcționale. Prin aceasta devin protectoare, deoarece nu permit instalarea unor agenți biodeterioratori mai periculoși (așa cum bioskena placa dentară nu permite fixarea unor bacterii patogene).

**Biopatina unui tablou în ulei** sau a unei fresce este formată dintr-o puzderie de bioskene diferite între ele, unite în consorții diferite deoarece substratul are o încărcătură extrem de variată în pigmenți, substanțe organice și minerale. Materiale diferite înseamnă biotopuri diferite; iar acestea nu reprezintă doar spații care servesc de suport microbionic, ci surse de materie și energie care asigură creșterea și dezvoltarea microbiotei.

Deci, un tablou nu reprezintă doar un suport pentru microbiote, ci și o sursă de hrană, un biotop. Sursa de hrană devine mai complexă în timp prin moartea unor microorganisme și prin intrarea lor în circuitul bio-geo-chimic.

Biopatinele sunt ecosisteme care realizează un transfer de materie și energie permanent între substrat (biotop) și filmul biologic (biocenoză). La contactul dintre cele două sisteme pot avea loc modificări importante. Biopatina poate determina menținerea constantă a masei substratului, sau creșterea sa; în unele cazuri poate provoca o pierdere de masă provocând o deteriorare.

Ca orice ecosistem biopatina poate suferi în timp unele modificări morfologice și structurale și chiar de natură estetică. (Krumbein, 1993).<sup>16</sup>

Valoarea estetică a obiectelor de artă se poate modifica prin virarea culorii.

Îmbătrânirea unei opere de artă poate avea loc și în lipsa unei biopatine, însă este însoțită de grave procese de deteriorare: exfolieri, descuamări, prăfuiri, dezintegrare totală.

Îmbătrânirea unei piese se realizează în funcție de formarea și de natura patinei biologice. Atunci când aceasta ajunge la un punct de echilibru procesul de îmbătrânire se realizează mai greu, putând dura zeci sau sute de ani; se poate relua în situația în care unul dintre factori

---

<sup>16</sup> Krumbein, W.E. 1993, *Zum Begriff Patina, seiner Beziehung zu Kresten und Verfärbenger und deren Auswirkungen auf den Zustand von Monumenten*. In Steinzerfall Steinkonservierung, Sneathlage, R (ed). Crnst und Sohn, Berlin, 215-229.

suferă o modificare ce provoacă activarea proceselor metabolice ale unor microorganisme. Aceste procese ne îndreptăţesc să considerăm că patina biologică reprezintă o fază statică, sau stabilizatoare în procesul de îmbătrânire, protejând substratul împotriva atacului unor microorganisme mai distructive. Microorganismele care formează filmul biologic acoperă suprafaţa suportului asemenea unui penaj, nelăsând spaţii libere. În situaţia în care vin alte microorganisme, ce au tendinţa de a se fixa de substrat vor fi respinse de cele deja fixate. Desigur că filmul biologic poate suferi unele modificări structurale determinate de competiţia dintre microorganisme, care poate conduce la răsturnarea raporturilor dintre unele specii.

Desigur că biopatina determină unele modificări fizice şi chimice ale substratului pe care se instalează. În interacţiunea dintre microorganismele chimiolitotrofe pot apare o serie de compuşi din ciclul azotului şi chiar al sulfului, cu formarea de acid azotic şi sulfuric de natură biologică. Aceştia acţionează asupra substratului provocând un proces de biodeteriorare. Biopatina poate determina transformarea catalizată a carbonatului de calciu în oxalat de calciu. Oxalaţii nefiind solubili se depun pe substrat sub forma unor cruste. Astfel de creste de oxalaţi se găsesc pe aproape toate monumentele de artă antice din zona mediteraneană.

Aşa cum am mai prezentat, biopatina poate provoca şi un impact fizic asupra substratului. Sticla şi rocile, mai ales cele calcaroase, sunt mai vulnerabile la acţiunea biopatinei; hârtia, pergamentul şi lemnul par a fi mai rezistente.

Danin (1992) a demonstrat acţiunea mecanică a biopatinei asupra substratului prin provocarea de exfolieri, crăpături şi chiar găurire.<sup>17</sup>

---

<sup>17</sup> Danin, A., 1992, *Biogenic weathering of marble monuments in Didim, Turkey, and in Traian's column, Rome*. In Proc. 5<sup>th</sup> Intern. Conf. On Environm. Quality and Ecosystem Stability, Ierusalim, 675-681.

Modificările fizice ale substratului provocate de biopatină pot fi asociate cu mai mulți factori:

- acțiunea mecanică a neomineralelor;
- acțiunea mecanică a apei și a vaporilor de apă;
- acțiunea mecanică a microbiotei.

Sun și Friedmann (1999) consideră că biopatina alterează rocile într-un timp raportat la scară geologică. De fapt, putem accepta că în acest timp (geologic) biopatina mai curând protejează rocile împotriva altor agenți deterioratori mai agresivi.<sup>18</sup>

---

<sup>18</sup> Sun, H.J., Friedmann, E.I., 1999, *Growth on geological time scales in the antarctic cryptoendolithic microbial community*. Geomicrobial. J. 16: 193-201.



## De la biofilm la bioderma vegetală

Pentru cei neavizați mineralele și rocile sunt degradate doar de factori fizici și chimici. Un geolog care face analiza unor roci degradate nu poate să nu pună în evidență existența unui film biologic care acoperă suprafața acestora; nu mai vorbim de cazul în care pe substrat s-a format o biodermă vegetală, care are o structură complexă. Un geolog care analizează o rocă degradată la lupă sau la microscop poate constata că, alături de cristalele caracteristice rocii respective apar și alte cristale, care nu-și pot justifica prezența din punct de vedere geologic. Aceste cristale pot fi de origine biogenă, biolite. Astfel, sub talul unor licheni colonizați pe roci, ziduri, marmură etc., se găsesc cristale generate de acizii lichenici veniți în contact cu substratul. Pe rocile care conțin magnetită se pot găsi cristale magniferoase, geolite, care conțin aluminiu, oxizi de fier etc. (fig.24)



**Fig. 24.** Microfotografie în secțiune a unui tuf vulcanic, colonizat de *Diploschistes actinostemus*, cu cristale generate de acizii lichenici (după G. Hortopan, 2005)

La interfața dintre calcarul de Albești din structura Bisericii „Trei Ierarhi”, și talul lichenului *Lecanora dispersa* am găsit cristale de oxalat de calciu care sunt biolite. De altfel Ascano (1976) a urmărit reacția

feldspațiilor și a micii în contact cu talul de licheni (*Rhizocarpus sp.* și *Parmela sp.*) și a constatat apariția unor biolite cu o cristalizare particulară.<sup>19</sup>

Fărămițarea rocilor sub acțiunea acizilor exudați de talul unor bacterii, alge, fungi și licheni a fost demonstrată în numeroase cercetări.

Noi am urmărit efectul biopatinei și al biodermei vegetale asupra pietrei din structura Bisericii „Trei Ierarhi” din Iași. Pe piatra de la Biserica „Trei Ierarhi” se găsește fixată o peliculă biologică (un biofilm) formată din diferite specii de bacterii, alge și fungi care provoacă o corodare a acesteia (fig.25).



**Fig. 25.** Biofilm fin fixat pe piatra de la Biserica „Trei Ierarhi” Iași (după M. Mustață)

Bacteriile chemolitotoautotrofe au capacitatea de a obține energie și putere reducătoare prin oxidarea unor compuși anorganici luați din substrat. Aceste specii procură energie prin oxidarea unor compuși anorganici, care sunt reduși și oferă astfel o sursă de hidrogen necesară proceselor metabolice ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{S}^0$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{H}_2$ ), ca în cazul

---

<sup>19</sup> Mustață Maria, 1993, *Proiect de expertizare, consolidare, restaurare și amenajare în zona de protecție a ansamblului Mănăstirii „Trei Ierarhi” Iași*, Realizat cu S.C. Habitat Proiect. S.A. Iași.

nitrobacteriilor, nitratabacteriilor, ferobacteriilor, bacteriilor metanogene și a celor acetogene.

Filmele biologice sunt formate de diferite specii de bacterii, de cianobacterii și de alge care se fixează pe roci, pe ziduri, pe stânci, pe marmură etc. mai ales atunci când umiditatea este mai ridicată. O dată fixate, acestea se mențin chiar și în condiții de ariditate; condiții extreme de temperatură și de umiditate.

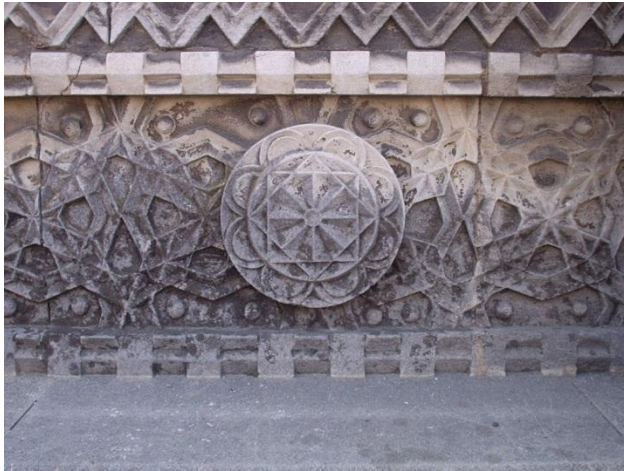
*Gloeocapsa nigricans* este o specie de cianoficee colonială, care se poate dezvolta în masă pe diferite suporturi litice formând învelișuri gelatinoase concentrice, colorate în galben, brun, sau verde-albăstrui, sau chiar incolore.

Speciile genului **Nostoc** se fixează de asemenea pe suporturi litice formând colonii mai mici sau mai mari. Filmul biologic format de aceste specii poate acoperi suprafețe foarte mari (fig. 26). Dintre algele verzi numeroase specii de *Chlorococcaceae* formează filme biologice deosebit de comune.



**Fig. 26.** Biofilmul produs de unele specii de *Nostoc* ce acoperă mari suprafețe ale pietrei (după M. Mustață)

*Chlorococcum humile*, numit în popor „verdeala zidurilor”, este nelipsit în mediile umede (în zidurile cu igrasie) (fig.27).



**Fig. 27.** Biofilm format de *Chlorococcum humile* pe piatra de la Biserica Trei Ierarhi, Iași (după M. Mustață)

Filmul biologic care acoperă substratul litic este de culoare verde-albăstrui în cazul cianoficeelor, verde în cazul algelor, dar poate căpăta și o culoare negricioasă datorită pigmentilor pe care îi conțin unele specii.

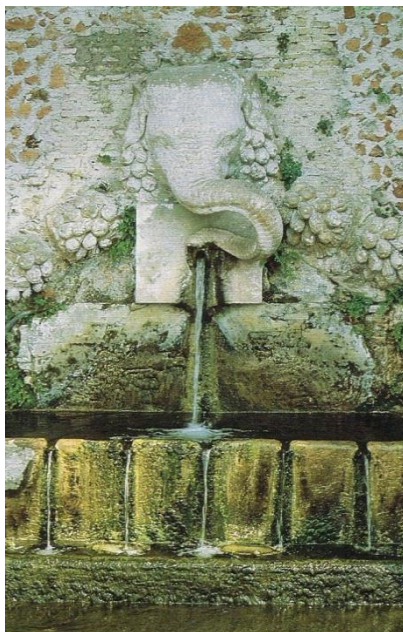
Filmul biologic poate avea o structură foarte heterogenă; alături de cianoficee și de alge verzi se pot găsi diferite alte specii de bacterii și de ascomicete.

Se pot fixa și germina spori de *Aspergillus* sau de *Penicillium*. Pe resturile de substanțe organice moarte acumulate în timp se pot fixa și diferite specii de *Mucor*, *Rhizopus*, *Alternaria*, *Cladosporium* etc.

Dacă biofilmul reprezintă o peliculă monodimensională, treptat, prin asocierea unor fungi, briofite și licheni acesta se ridică pe verticală și începe să se formeze ceea ce numim, de fapt, o **biodermă vegetală** (fig.28 și 29). Aceasta se realizează prin asociere la filmul biologic a unor briofite, licheni și chiar plante superioare.



**Fig. 28.** Bioderma vegetală fixată pe statuile din Insula Paștelui (după Caneva, 1994)



**Fig. 29.** Bioderma vegetală acoperirea în întregime piatra de la această ciușmea (după Caneva, 1994)

În bioderma vegetală instalată pe zidurile Bisericii „Trei Ierarhi” am semnalat prezența mai multor specii de mușchi, cea mai frecventă fiind *Bryum intermedium*. Dintre speciile de licheni amintim pe *Caloplaca decipiens*, *Caloplaca aurantia*, *Lecanora dispersa*, *Lecanora hagenii*, *Lecanora crenulata* și *Lecanora umbrina*.

Bioderma vegetală reprezintă o biocenoză pe deplin conturată, speciile fiind în interrelații complexe între ele și în „dialog” cu substratul litic. Bacteriile și fungii se pot găsi atât la suprafață cât și în profunzimea substratului (epilitice și endolitice), ocupând spațiile interstițiale ale rocilor, pe care le măresc treptat formând cavități din ce în ce mai mari și provocând astfel măcinarea substratului. Adesea hifele fungilor se împletesc cu cele ale lichenilor (ale fungilor din licheni).



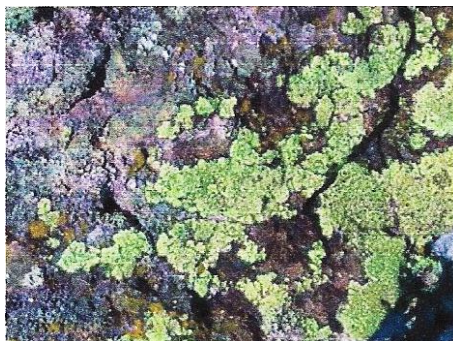
Bacteriile autotrofe și algele fac parte din primele eșaloane care colonizează substratul litic. Ele au nevoie doar de puțină umiditate și de praf, care conține atât particule minerale cât și organice. Speciile endolitice formează un complex de comunități microbiene ce interacționează pe diferite căi cu substratul umed și cu ceilalți factori ai mediului abiotic.

Pe substratul mineral se fixează la început microorganisme fototrofe, chemolithotrofe și apoi chemoorganotrofe, formând un film biologic care intră în interacțiune cu acesta. Atât bacteriile cât și algele și fungii antrenează o serie de minerale pe care le folosesc în procesul de nutriție. Pe substratul oarecum prelucrat de speciile autotrofe se fixează microorganisme heterotrofe, care se hrănesc cu substanțele organice moarte provenite prin moartea unor microorganisme sau aduse odată cu praful. Biofilmul devine din ce în ce mai grosier și începe să se transforme în biodermă vegetală. Încep să se instaleze diferite specii de licheni. Prin acțiunea corozivă a acizilor lichenici substratul este penetrat permițând pătrunderea în profunzime a unor specii endolitice, fixarea unor mușchi și chiar a unor plante superioare. Bioderma vegetală se întinde ca o pecingine pe substratul litic pornind de la bază spre înălțime în funcție de umiditate (fig.30).



**Fig. 30.** Bioderma vegetală se dezvoltă de la bază pe ziduri provocând distrugerea zidului (după M. Mustață)

Lichenii reprezintă o componentă constantă a biodermei vegetale. Mecanismul de biodeteriorare începe în cazul lichenilor prin penetrarea hifelor și a rizinelor în interstițiile substratului. Hifele pot pătrunde până la 15 mm în interiorul substratului nutritiv. *Lecidea fusciosa* își introduce hifele până la 4-5 mm în rocile vulcanice, în timp ce *Caloplaca teicholyta* și *Ochrolechia parella* nu reușesc mai mult de 1,5-2 mm. În schimb unele specii, precum *Caloplaca flavescens*, *Candelariella vitellina* și *Lecanora dispersa* pot penetra substratul până la 15 mm adâncime. Penetrarea hifelor și a rizinelor se realizează în rocile granitice doar la nivelul cristalelor de mică, în timp ce feldspatul și cuarțul sunt impenetrabile. Marmura de Carara poate fi penetrată de *Aspicilia contorta* până la 1 mm adâncime. *Rhizocarpon geographicum* penetrează rocile de granit care conțin cuarț, ortoclaz sau plagioclaz (fig.31). Lichenii exudă mari cantități de substanțe mucilaginoase și gelatinoase care aderă perfect la suprafața substratului litic. Aceste substanțe se pot dilata sau contracta în funcție de conținutul de apă. După cum precizează Fry (1924) prin aceste procese lichenii provoacă în zona părților marginale fenomene de „peeling” (decojire) la suprafață.<sup>20</sup>



**Fig. 31.** *Rhizocarpon geographicum* – lichen crustos  
(după G. Hortopan, 2005)

---

<sup>20</sup> Fry.E.J., 1924, *A suggested explanation of the mechanical action of lithophytic lichens on rock (shale)*, *Anal. Bot.*, 38: 175-196.

Specia *Aspicilia contorta* conține în structura sa o mare cantitate de substanțe mucopolizoharidice, ceea ce prezintă un rol important în procesul de hidratare. Succesiunea unor hidratări și deshidratări determină desprinderea unor cristale de calcite din marmură, cu efecte biodeterioratoare. S-a constatat că lichenii folioși sunt mai dăunători decât cei crustoși ca urmare a fixării lor prin multe rizine.

Ceea ce pare a fi paradoxal este că lichenii pot avea uneori și un rol de protecție a substratului litic. Gohrmann (1988) a constatat că numeroase degradări de pietriș (exfolieri, descuamări, înfloriri, pulverizări etc.) sunt mai puternice în zonele în care nu sunt instalați lichenii.<sup>21</sup>

Biodegradarea prin mecanisme chimice este dată de capacitatea lichenilor de a sintetiza și exuda acid oxalic, substanțe lichenice și anhidridă carbonică.

**Acidul oxalic** este cel mai dăunător acid sintetizat de licheni; acționând asupra mineralelor este mai puternic decât acidul sulfuric și decât cel colhidric, după părerea lui Nimis et. al. (1992).<sup>22</sup>

Oxalații acumulați în talerul lichenilor sunt rezultatul direct al acidului oxalic secretat de miceliul fungic (fig.32). Depozitele de oxalați din talul lichenilor poate avea poziții diferite: la exterior, în cortexul superior sau în interiorul hifelor fungice; la *Caloplaca citrina* se găsește în medulă și la suprafață, iar la *Lecanora muralis* numai în medulă.

La multe specii de licheni oxalați de calciu se găsesc la suprafața talului: *Caloplaca flavescens*, *Lecanora rupicola*, *Aspicilia calcarea* etc. Se pare că prin oxalații de calciu talul lichenilor elimină excesul de calciu.

---

<sup>21</sup> Gohrmann, C.K., Krumbein, W.E., Peterson, K., 1988, *Silicicole and calcicole lichens on Jewish tombstones – Interactions with the environment and biocerosion*, Studio biobot. 8:33-45.

<sup>22</sup> Nimis, P.N., Pinna Damilla, Salvadori Ornella, 1992, *Lichemie conservation del monument*, Edit Bologna, 155 p.





**Fig. 32.** Peliculă de oxalat de calciu pe marmură  
(după G. Hortopan, 2005)

**Substanțele lichenice** pot avea structuri variate. Acești compuși conțin unele grupe polare, cum ar fi: - OH; CHO sau -COOH, ce au funcția de donatori de electroni. Aceste substanțe favorizează procesul de chelare a cationilor metalici. Între substanțele lichenice mai comune putem cita: acidul lecanoric, acidul fumarprotocetric, acidul vulpinic, acidul usnic și parietina (Hortopan Gabriela, 2005).<sup>23</sup>

Cercetările au probat că punerea în contact a unor licheni, precum: *Cladonia furcata*, *Cladonia arbuscula*, *Peltigera aptosa*, *Xanthoria elegans*, *Parmelia conspersa*, *Letharia vulpina* etc. cu granit și cu marmură determină formarea unui supernatant divers colorat, care conține substanțe lichenice.

Compușii lichenici sunt depuși în structura talului sub formă de încrustații cristaline situate la suprafața hifelor.

Iskandan, Syers (1972) au urmărit capacitățile complexe ale acizilor: salazimic, stictic, evernic, lucanaric și rocelic în contact cu anumite suspensii apoase de biotite, mica și bazalt. Ei au constatat că

---

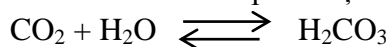
<sup>23</sup> Hortopan Gabriela, 2005, *Licheni implicați în degradarea pietrei de la Biserica „Trei Ierarhi” Iași*, Teza de disertație, Univ. „Al.I. Cuza” Iași.

acești acizi determină eliberarea unor cantități diferite de Ca, Al, Fe, Mg etc. din roci minerale și din silicați.<sup>24</sup>

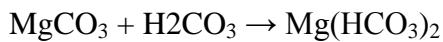
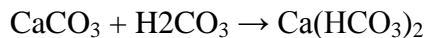
S-a demonstrat că *Rhizocarpon geographicum* atacă feldspații și determină alterarea micii cu formarea de goethite.

*Parmelia conspersa* determină formarea de halosite, caolinite și silicați amorfi prin atacarea substratului litic. Cercetătorii au demonstrat capacitatea unor licheni de a mobiliza fierul din roci. *Xantoria sp.* atacă plagioclazul iar *Dimalaena areina* atacă cuarțul. (Hallbaner și Johns, 1977)<sup>25</sup>

**Anhidrida carbonică** rezultă din procesul de respirație și conduce la formarea de acid carbonic după reacția:



Deși acidul carbonic este slab, poate dizvolta carbonatul de calciu și de magneziu, atacând astfel marmura, calcarele dolomitice și zugrăvelile.



Așa cum am mai precizat, acidul oxalic este unul dintre cei mai activi acizi care degradează mineralele. Cristalizarea oxalaților formați se poate realiza la suprafața de contact rocă – licheni, în interiorul talului la suprafața hifelor.

Substanțele lichenice au efect biodeteriorator asupra substratului. Carbonații și substanțele feromagnetice sunt afectate cel mai mult. Acest efect a fost demonstrat la speciile: *Caloplaca calloprisma* și *Aspicilia calcarea* (Hortopan G., 2005) *Pertusaria corallina* atacă

---

<sup>24</sup> Iskandon, I.K., Syers, J.K., 1972, *Metal complex formation by lichen compounds*, Journal of soil Science, 23: 255-265.

<sup>25</sup> Hallbaner, N.K., Johns, H.M., 1977, *Attack of lichens on quartzitic rock surfaces*, Lichelo nagest, 9: 119-122.

mineralele din structura bazaltului, producând metaboliți secundari care sunt depozitați la interfața rocă – licheni (Jones et al. 1980)<sup>26</sup>

Lichenii endolitici provoacă apariția unor crăpături mai mici sau mai mari la suprafața substratului, fenomen numit „pitting”.

O problemă importantă pentru specialiști care se ocupă de conservarea bunurilor de patrimoniu o constituie formarea peliculelor de oxalat de calciu la suprafața substratului atacat.

Leibig (1853) citat de Hortopan 2005, a semnalat pentru prima dată existența unor astfel de pelicule pe marmura de la Partenon (fig.33). Ele a atribuit formarea acestora lichenilor. Cercetările au dovedit că oxalații de calciu formați de licheni sunt sub două forme cristaline:

Whewellite =  $\text{CaC}_2\text{O}_4\text{H}_2\text{O}$  monohidratată, sub formă cubică;

Weddlilite =  $\text{CaC}_2\text{O}_4(2+x)\text{H}_2\text{O}$ , o formă hidratată, care realizează cristale tetragonale.



**Fig. 33.** Secțiune stratigrafică : pelicula de oxalat de calciu pe marmura de la Partenon (după G. Hortopan, 2005)

La suprafața substratului atacat se pot forma pelicule omogene, extinse, de culori variate, de la galben până la brun. În astfel de pelicule se pot întâlni ambele forme: Whewellite și Weddlilite.

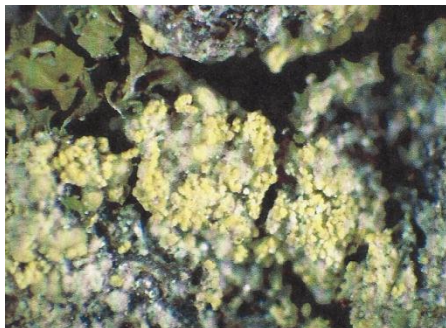
---

<sup>26</sup> Jones, R.J., Wilson, H.J., Tait J., 1980, *Weathering of a basalt by Pertusaria corallina* Lichenobiologist, 12: 277 – 278.

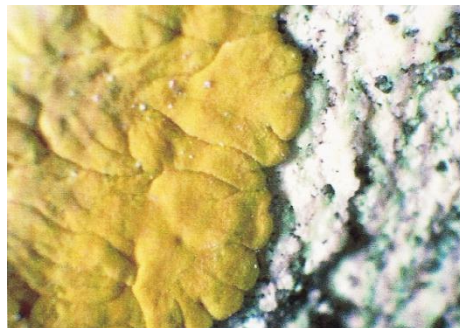
Lichenii fiind plante poikilohidrice și având un conținut ridicat de substanță uscată (87,02-92,61%) au o mare aviditate pentru apă. Pot realiza o hidratare de 100-200% din greutatea lor uscată. Astfel creează un mediu prielnic și pentru alte specii. Fiind specii deosebit de rezistente la lipsa de apă pot supraviețui chiar și atunci când gradul lor de saturație în apă poate ajunge la 7,30-12,98%. Aceste adaptări extreme fac ca bioderma vegetală să nu aibă moarte; să se mențină la nesfârșit pe suprafețele litice.

Între speciile de licheni identificați în bioderma vegetală de pe zidurile Bisericii „Trei Ierarhi” din Iași menționăm: *Caloplaca citrina* (Hoffm.) Th. Fr. Este o specie comună în mediile antropizate. Talul formează o crustă oxalată, pulverulentă, de culoare galbenă ca lămâia. Specia este localizată la partea bazală a zidurilor (fig.34).

*Caloplaca aurantia* (Pers.) J Stein. Prezintă un tal placoid, cu aspect granulos, galben-orange sau galben-ruginiu. Este o specie calcicolă (fig.35).

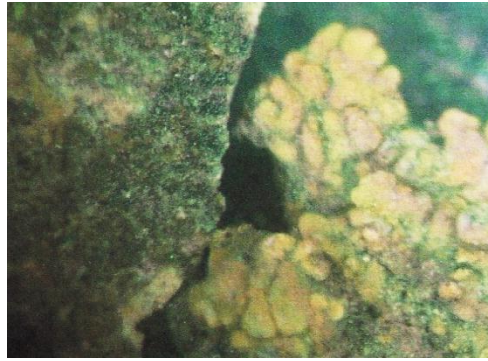


**Fig. 34.** *Caloplaca citrina*  
(după G. Hortopan, 2005)



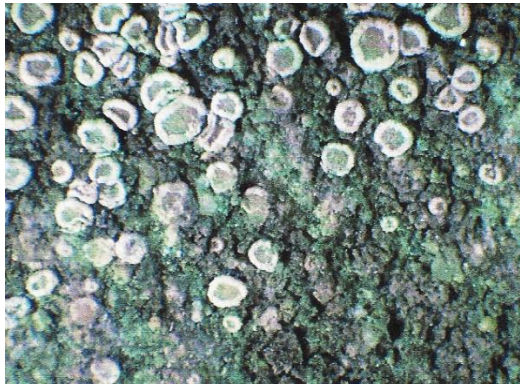
**Fig. 35.** *Caloplaca aurantia*  
(după G. Hortopan, 2005)

*Caloplaca decipiens* (Arn) Blomb. & Forssell. Prezintă un tal galben-oranj, până la galben verzui. Se fixează adesea pe ziduri, pe roci calcaroase, pe mortaruri (fig.36).



**Fig. 36.** Fragmente de tal la microscopul electronic – *Caloplaca decipiens* (după G. Hortopan, 2005)

*Lecanora dispersa* (Pers) Sammerf. O specie frecventă în mediul antropizat. Talul este mic, format din numeroase opatici mai mult sau mai puțin dispersate, de culoare cenușie. Este o specie epilitică, întâlnită frecvent în marele orașe. Se fixează pe marmură, ciment, silicați etc. uneori patina formată de această specie este considerată ca fiind o **patina nobilă** (fig.37).



**Fig.37.** *Lecanora dispersa* (după G. Hortopan, 2005)

*L. umbrina* (Ehrht) Massol și *Lecanora crenulata* (Dicks) Hookh.

Pe piatra de la Biserica „Trei Ierarhi” Iași filmul biologic cuprinde o mare parte a zidului din partea de nord. Putem constata cum acesta se transformă în biodermă vegetală, procesul de biodeteriorare avansând în mod periculos (fig. 38). Mușchii care pătrund în bioderma vegetală se comportă asemenea lichenilor; sunt organisme heliofite, hidrofile și sunt rezistente la variații cuprinse în limite foarte largi ale temperaturii și umidității. Mușchii cresc și în timpul iernii, când temperatura este pozitivă, peste 4-5°C. Gradul înalt de supraviețuire a mușchilor este asigurat de conținutul bogat de microalimente absorbite din substrat.



**Fig. 38.** Bioderma vegetală (după M. Mustață)

**Tabelul 11.** Conținutul în elemente minerale la speciile din bioderma vegetală fixată pe piatra Trei Ierahilor

Nr.	SPECIILE CERCETATE	Azot total	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	Total minerale
1.	<i>Chlorococcum humicola</i>	0,23392	0,15	0,13	0,25	0,50	1,26392
2.	<i>Nostoc sp.</i>	0,334568	0,62	0,42	0,31	0,45	2,13568
3.	<i>Candelariella sp.</i>	1,72516	0,82	0,35	0,11	0,21	3,21516
4.	<i>Lecanora muralis</i>	3,42108	0,93	0,31	0,17	0,42	5,25108
5.	<i>Bryalis sp.</i>	1,92984	0,82	0,26	0,10	0,38	3,45984
6.	<i>Bryum murale</i>	1,11112	0,78	0,30	0,11	0,36	2,69112
Acumulări totale		7,64456	4,12	1,77	1,08	2,03	17,9968

**Tabelul 12.** Variația procentuală a proteinei brute și a glucidelor pe forme și totale la speciile din bioderma vegetală fixată pe piatra Trei Ierarhilor

Nr.	SPECIILE CERCETATE	FORME DE GLUCIDE			Glucide totale	Raport glucide solubile/glu cide insolubile	Proteina brută	Raport C/N
		Direct redus.	Solubile în apă	Insolubile în apă				
1.	<i>Chlorococcum humicola</i>	7,20	4,50	12,19	23,89	0,96	1,4220	102,14
2.	<i>Nostoc sp.</i>	6,35	4,55	11,80	22,70	0,80	1,3344	121,24
3.	<i>Candelariella sp.</i>	5,40	1,78	23,78	36,47	0,31	10,7823	21,14
4.	<i>Lecanora muralis</i>	7,22	1,42	21,83	30,96	0,30	21,3817	9,05
5.	<i>Bryalis sp.</i>	13,04	3,01	25,55	41,16	0,63	12,0615	21,33
6.	<i>Bryum murale</i>	17,22	2,91	23,58	43,71	0,85	6,9445	39,34

**Tabel 13.** Conținutul în substanță și pigmenți asimilatori la diverse specii de plante din bioderma vegetală fixată pe piatra Trei Ierarhi

Nr.	SPECIILE CERCETATE	Substanța uscată %	Apa totală	Pigmenți asimilatori		Pigmenți carotin.	Pigmenți totali	Raport clorofile a/b	Raport pigm. Verzi/ pigm. galbeni
				Clorofila a	Clorofila b				
1.	<i>Chlorococcum humicola</i>	93,62	6,38	0,0836	0,0328	0,0403	0,1567	3,5565	2,8875
2.	<i>Candelariella sp.</i>	92,61	7,39	0,0476	0,0243	0,0926	0,1644	1,9608	0,7754
3.	<i>Lecanora sp.</i>	87,02	12,98	0,0714	0,0364	0,0423	0,1501	1,9621	2,5610
4.	<i>Bryalis sp.</i>	47,66	52,34	0,1327	0,1710	0,0926	0,3762	0,7862	0,2808
5.	<i>Bryum murale</i>	57,08	42,92	0,1438	0,1300	0,0938	0,3676	0,1062	2,9190

Intensitatea luminii a variat între 15000 - 48000 lucși, iar temperatura între 7-8°C.

Determinarea pigmentilor s-a făcut pe materialul proaspăt și s-a exprimat în mg/g s.verde (substanță verde).

Mușchii saxicoli au un conținut ridicat în fosfor (0,82%) și calciu (2,69%) din cantitatea de substanță uscată.

În cele ce urmează prezentăm unele rezultate ale analizelor efectuate în laborator privind conținutul în proteine, elemente minerale și pigmenți din substanța uscată a unor specii care intră în structura biodermei vegetale fixate pe piatră de la Biserica „Trei Ierarhi” Iași.

Datele au fost obținute din analizele de laborator efectuate la Laboratorul de Fiziologia Plantelor de la Facultatea de Biologie din Iași, coordonată de doamna conf.dr. Alice Piscică. (Mariana Mustață, 1993) (tabelele 11,12 și 13)

Prezentăm astfel de date pentru a înțelege mai bine de ce filmele biologice și biodermele vegetale nu au moarte. Am mai pus în discuție problema biopatinelor și am precizat că acestea pot avea o lungă existență (sute, mii sau zeci de mii de ani). Biopatinele de pe unele picturi rupestre au vechime de 30-50.000 de ani.



## **Acțiunea biopatinelor asupra rocilor și a marmurei**

Biopatina monumentelor de patrimoniu din zona mediteraneană are o structură foarte complexă și variată. Funcționează ca ecosisteme în care speciile biocenzelor stabilesc interrelații adesea criptice. Cercetările recente ale unor astfel de biopatine fixate pe monumente din piatră și marmură au elucidat unele relații trofice dintre microbiote pe de o parte și dintre acestea și substrat, pe de altă parte. Biopatina din zona mediteraneană se formează și supraviețuiește în condiții extreme de temperatură, secetă, concentrații mari de săruri minerale.

Putem considera că în anumite perioade speciile din structura unor astfel de biopatine trec în faza de anabioză, când nu mai acționează asupra substratului, ci doar îl protejează.<sup>27</sup>

Microbiota din structura unor biopatine de acest fel prezintă multiple adaptări fiziologice și metabolice care permit supraviețuirea în astfel de condiții.

În cercetările moderne se folosesc instrumente moleculare de investigații, care permit detectarea rapidă a speciilor biodeterio gene, mergând până la stabilirea tulpinilor care acționează în diferite medii.

Între metodele moderne folosite menționăm:

- reacțiile de polimerizare în lanț;
- proceduri de separare a acizilor nucleici;
- electroforeză în gel cu gradient de denaturare;
- tehnica SSCP (Single – Stand Conformation Polymorphism);
- utilizarea markerilor genetici;

---

<sup>27</sup> Daniele Daffonchio, Sara Borin, Elisabeta Zanardini, Pamela Abbruscato, Marco Realini, Clara Uzi, Claudia Srabini, 2000, *Molecular tools applied to the study of deteriorated artworks* In *Of Microbes and art, The Role of Microbial Communities in the Degradation and Protection of Cultural Heritage* „Edited by Ohio Ciferri, Piero Tiano, Giorgio, Kluwer Academic”/ Plenum Publishers. New York, p.21-38.

- utilizarea bazelor de date privind secvențele de gene. (Daniele Daffonchio și col., 2000);

Prin utilizarea acestor metode de mare finețe și precizie a fost posibilă descoperirea unor noi specii de microorganisme care provoacă procese de biodeteriorare a monumentelor.

Rölleke et al. (1996,1998) au identificat în biopatina unor fresce medievale din castelul Herberstein (Austria) prezența bacteriei *Eubacteria* sp., care nu putea fi izolată prin culturi pure. De asemenea au fost identificate specii ale genurilor *Halomonas*, *Clostridium* și *Frankia* care nu erau cunoscute ca fiind biodeterioatoare lucrărilor de artă.<sup>28</sup>

Rölleke et al. (1996) au descoperit în același material prezența bacteriei *Archaea* din clasa Halobacteria. *Archaea* nu este sensibilă la acțiunea unor antibiotici care sunt eficienți împotriva grupului *Eubacteria*.<sup>29</sup>

*De Leo et al. (1999) și Urzi et al. (1999)* au identificat specii noi de bacterii în unele statui de la Muzeul Messina. Astfel au fost descoperite unele ascomicete din familia Herpotrichillaceae.<sup>30</sup>

*Sterflinger et al. (1997)* au descoperit speciile *Coniosporium perforans* și *C. apollium* pe marmura din Sanctuarul din Delos, iar *Urzi et al. (1999)* au descoperit o nouă specie, *Marmoricola aurantiacus* în cimitirul vechi din Nordfriedhof (Munich, Germania).<sup>31</sup>

---

<sup>28</sup> Rölleke, S., G. Myzer, C. Wover, G. Wanner, W. Lubitz, 1996, *Identification of bacteria in a biodegraded wall painting by denaturing gel electrophoresis of PCR - amplified gene fragments coding for 16 Sr DNA*. Appl. Environ. Microbiol. 62: 2059-2065.

<sup>29</sup> Rölleke, S., A. Witte, G. Wanner, W. Lubitz, 1998, *Medieval wall paintings – a habitat for Archaea: identification of Archaea by denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE) of PCR – amplified gene fragments coding for 16 Sr RNA in medieval wall painting*. Int. Biodet. Biodegr. 41: 85-92.

<sup>30</sup> De Leo, F., C. Urzi, G.S. Hoog, 1999, *Two new Conidiosporium species isolated from rock surfaces*, Stud. Bycol (in press).

<sup>31</sup> Sterflinger, K., R. Ne Boem, G.S. Hoog, R. De Wachter, W.R. Krumbein, H. Gasse, 1997, *Conidiosporium perforans and C. apollinis*, two rock – inhabiting fungi isolated

De Wulf–Durrand et al. (1997) au făcut cercetări asupra bacteriilor acidogene, deosebit de periculoase pentru calcare, datorită faptului că acestea produc și exudă acizi anorganici. Au fost identificate mai multe specii foarte periculoase: *Thiobacillus thiooxidans*, *T. ferrooxidans*, *T. caldus*, *Leptospirillum ferrooxidans*.<sup>32</sup>

În monumentele de marmură din bazinul mediteranean au fost identificate numeroase tulpini de *Geodermatophilus*, deosebit de periculoase, deoarece au o înaltă adaptare la condiții extreme de mediu. Tulpinile de *Geodermatophilus* produc pigmenți negri sau portocalii.

Krumbein (1992)<sup>33</sup>, Urzi et al. (1992)<sup>34</sup> și Eppard et al. (1996)<sup>35</sup> au dovedit că tulpinile de *Geodermatophilus* produc acizi organici și determină alterări cromatice ale substratului. Reprezentanții acestui gen sunt cocciformi, sunt Gram pozitivi, aerobi, chemoorganotrofi și sunt mezofilici.

Specia cea mai cunoscută este *Geodermatophilus obscurus*, cu mai multe subspecii: *obscurus*, *amargosae*, *uthahensis*. Această specie a fost izolată din biopatină de pe unele monumente din marmură de Carrara.

Prin investigațiile moderne microbiene de pe lucrări de artă au fost stabilite unele dintre populațiile de bacterii și nu numai, cu o mare

---

*from marble in the Sanctuary of Delos (Cyclades, Greece)*. Anton van Leeuwenhoek 72: 349-363.

<sup>32</sup> De Wulf- Durrand P., L.J. Bryant, L.I. Sly, 1997, *PCR mediated detection of acidophilic, bioleaching – associated bacteria*, Appl. Curiron. Medieval. 63: 2944-2948.

<sup>33</sup> Krumbein, W.E., 1992, *L'Acropole–La détérioration des marbles*, Archéologie 280: 20-31.

<sup>34</sup> Urzi. C, P. Schman, E. Stockrbrandt, 1999, *Marmoricola auranticus gen. nov., sp. nov. a coccoid member of the family Nzocardioides isolatie from a marble Statue Inst. J. Syst. Medieval.* (subwritted).

<sup>35</sup> Eppard, M., W.E. Krumbein, C.Koch, E.Rhiel, J.T. Staley, E. Stackebrant, 1996 *Morphological, physiological, and molecular characterization of actinomycetes isolated from dry soil, rocks, and monuments surfaces*. Arch. 166: 12-22.

capacitate de biodeteriorare, cum ar fi bacteriile nitrificante și sulfooxidante, care produc acizi anorganici, unele bacterii filamentoase și actinomicete care pot penetra cu ușurință substratul poros. Acestea sunt bacterii care formează un biofilm al căror exopolimeri le fac mai rezistente la bioacizi. În acest sens putem menționa pe *Bacillus cereus*.

Zanordini et al. (1997) au demonstrat că *Bacillus cereus* poate constitui un model de microorganisme biodeteriogene datorită faptului că:

- formează spori aerobi cu o mare rezistență la condiții extreme de mediu;
- prezintă capacitatea de a supraviețui la cele mai stresante condiții de mediu (sol, apă, deșerturi etc.);
- este o specie foarte implicată în bolile provocate de alimentele alterate.<sup>36</sup>

Daffonchio et al. (2000) au elaborat o nouă metodă pentru a elucida cauzele proceselor de biodeteriorare.

Nu au pus accentul pe cunoașterea speciilor biodeterioratoare, ci pe cunoașterea genelor care sunt coduri pentru anumite activități metabolice (indiferent de speciile purtătoare); deci, au fost urmărite genele catabolice care permit degradarea unor poluanți aerieni.

Anumite bacterii se pot instala pe diferite suporturi. Ele au nevoie de nutrienți, pe care nu-i pot lua din substrat, însă îi pot lua din aerul poluat.

Au fost urmărite specii de bacterii *chemolitotrofe* din biopatina fixată pe unele monumente din Milano. Au fost descoperite multe bacterii heterotrofe.

---

<sup>36</sup> Zanordini, E. V. Ardeoni, S. Barin, F. Cappitelli, D. Daffonchio, P. Talotta, C. Sorlini, G. Ranali, S. Bruni, F. Carioti, 1997, *Lead-resistant microorganisms from red stains of marble of the Certosa Paria, Italy and use of nucleic acid based techniques for their detection*. Int. Biodet. Biodegr. 40: 171-182.

Saiz-Jimenez (1997) a urmărit consistența prafului depus pe monumentele de piatră pentru a elucida în ce măsură această pudră conține anumiți nutrienți.<sup>37</sup>

În cercetările sale Saiz-Jimenez a identificat un mare număr de compuși alifatici, aromatici și policiclici (tridecan, docosan, dibenzofuran, 3 metil 3-ciclohexan, fenantren, acid palmitic, pirene).

---

<sup>37</sup> Saiz- Jimenez C. 1997, *Biodeteration vs biodegradation: the role of microorganisms in the nemoral of the pollutants deposited onto historic buildings*. Int. Biodet. Biodegr. 40: 225-232.



## Fenomenologia alterărilor biologice

Alterarea bunurilor de patrimoniu se manifestă în mod diferit în funcție de substratul material din care sunt formate și de complexul de factori abiotici și biotici care acționează. Aspectul morfologic al biodegradărilor este foarte diferit, însă se pot găsi unele elemente prin care să le diferențiem.

În cazul atacului fungilor poate fi descoperită rețeaua hifelor sau petele de culoare pe care acestea le provoacă. În cazul lemnului atacat de ciuperci se poate pune în evidență o anumită categorie de putregai: alb, brum etc.; în cazul insectelor se pot pune în evidență orificii de eclozare ale adulților, tunele, găuri, galerii, rumeguș, excremente etc.

Pe piatră, marmură, sticlă, biodegradarea este mai greu de pus în evidență. Este greu de diferențiat degradările produse de factorii abiotici și cei biotici. Bacterii sulfooxidante și nitrobacteriile determină adesea apariția unor exfolieri sau pulverizări ale substratului; aceste efecte pot fi însă determinate de oxizii de SO<sub>2</sub> și NO<sub>2</sub> care se găsesc în aerul poluat. *Arthrobacter* și alte specii de bacterii determină apariția unor pete cromatice ce pot fi adesea considerate ca fiind de natură chimică.

Patinele biologice și chiar unele eflorescențe sunt asemănătoare cu cele produse de unii agenți chimici. Este foarte greu de recunoscut atacul unor agenți biodeterioratori care se găsesc în profunzimea stratului atacat. Este greu, aproape imposibil să diferențiem o patină biologică formată la suprafața unor metale de coroziunea simplă electrochimică. De altfel descoperirea patinei biologice a fost realizată cu adevărat în ultimele decenii ale secolului al XX-lea. Unele patine negre formate de cianobacterii sunt confundate cu depuneri de poluanți.

Atacul organismelor endolitice (bacterii, alge, licheni) este cu greu recunoscut chiar de unii specialiști.

Colonizarea unui substrat depinde mult atât de natura acestuia cât și de condițiile ambientale. Adesea unele biopatine formate de alge

la suprafața substratului își schimbă culoarea ca urmare a unui stres fiziologic. Patinele verzi produse de *Haematococcus pluvialis*, din familia *Chlorophyceae* îi schimbă culoarea devenind roșie, ca urmare a acumulării de substanțe carotenoide în anumite condiții de mediu (Pietrini, 1985).<sup>38</sup>

În cazul unor picturi murale din Italia, biopatinele verzi pot vira, devenind negre gri sau roze în funcție de vârsta coloniilor de cianobacterii, a pH-ului și a poluării aerului (Giaocolini, 1974).<sup>39</sup>

Biopatinele formate de alge și cianobacterii, care sunt fototrofe își pot vira culoarea și nu mai sunt verzi; ca urmare a acoperirii pigmentilor clorofilieni de alți pigmenți (ficobiline, carotenoizi etc.).

Caneva et al. (1997) folosesc noțiunea de **patterns** pentru anumite caracteristici morfologice ale agenților biodeterioratori (structura talului, a corpurilor de fructificare etc.), dar și în funcție de anumiți metaboliți eliberați. În acest fel unele populații de biodeterioratori pot fi considerate ca fiind bioindicatori ai pigmentilor din mediu care condiționează prezența lor; temperatura, umiditate, pH, săruri minerale etc.

Caneva și Salvatori (1989) analizând distribuția unor fitocenoză fixate pe castelul din Venosa au reușit să realizeze creșterea gradientului hidric și de nitrați din ziduri, în funcție de care au stabilit diferite patterns-uri de degradare.

## Cauciucul natural

Se extrage din unele specii de plante, mai ales din unele plante din familia Moraceae, care conțin un suc alb-lăptos (latex), care are o

---

<sup>38</sup> Pietrini A.M., Bartolini, Giuliani M.R., 1985, *A reddish alteration caused by algae on stone works – preliminary studies in Conservation of Stone*, vol.2, p.653-662, Lausanne.

<sup>39</sup> Giaocolini C., *Prospettive di riconoscimento ... di alcuni tipi di alterazione dei monumenti*, în Atti del XXIX Congresso dell' ATI, Firenze, 129-132.



mare cantitate de cauciuc natural. În acest sens se folosește latexul extras de la *Hevea brasiliensis*, care crește în America de Sud, Asia de Sud și Africa, dar și latexul unor specii de plante din familia Euphorbiaceae, care au, de asemenea un suc alb-lăptos.

Latexul se obține din arbori prin crestarea scoarței, fiind colectat apoi în vase speciale. Latexul conține dispersii coloidale de cauciuc, în particule de circa 0,4–0,5μm. Miceliile de cauciuc au la suprafață o peliculă de proteine încărcată electric negativ.

Latexul extras din *Hevea brasiliensis* conține: 35% cauciuc, 2% proteine, 1,65% rășini, 0,65% hidrați de carbon, 0,7% cenușă și apă.

Procedul de obținere a cauciucului este empiric; constă în acumularea de latex pe o lopățică de lemn și apoi uscarea treptată la foc. Obținerea cauciucului prin metode moderne este mai complicată. Latexul colectat se precipită prin acidulare (acid acetic sau formic). Coagulul obținut este prelucrat mecanic între doi cilindri și tras în foi de diferite grosimi, care se spală și se usucă. Uscarea se poate realiza într-o atmosferă curată și cauciucul iese alb, sau într-o atmosferă cu fum de lemn, când capătă o culoare galben-brună și păstrează mirosul de fum.

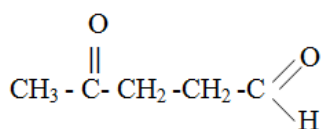
Latexul este supus unor tehnici de stabilizare, concentrare și conservare. Stabilizarea se realizează prin tratarea cu amoniac; concentrarea se obține prin menținerea în vid sau prin centrifugare.

Cauciucul natural este format, asemenea izoprenului ( $C_5H_8$ ), având o structură macromoleculară. De altfel, la temperatura de 300°C începe să se descompună eliberând molecule de izopren.

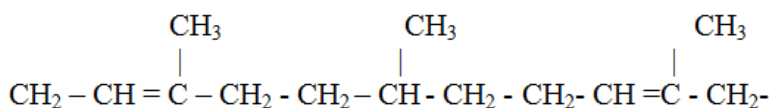
Cauciucul este un produs de polimerizare a izoprenului, cu mase moleculare de 50.000-3.000.000.

Haries și Staudinger au tratat cauciucul cu ozon și au obținut un produs sticlos (ozonidă), cu molecula:  $(C_5H_8O_3)_n$ .

Această ozonidă formează la hidroliză o aldehydă levurică:



Aceasta demonstrează că molecula de cauciuc este formată din lanțuri de izopren:



Lanțul polimeric este format din doi izomeri (**cis** și **trans**). Cauciucul natural conține izomerul cis, iar **gutaperca** izomerul trans.

Cauciucul se poate prezenta în patru stări: **amorfă**, **elastică**, **plastică** și **cristalină**. Stările cristalină și amorfă sunt rigide, starea plastică este asemenea unui lichid, cu mare plasticitate, iar forma elastică este cea folosită în mod obișnuit.

Cauciucul poate suferi alungiri de 700-800% sub acțiunea unor forțe și revine la starea inițială după încetarea acestora.

Întinderea și revenirea cauciucului este posibilă datorită faptului că moleculele nu sunt rigide și pot realiza o rotație liberă în jurul legăturilor simple de C-C. Moleculele pot trece prin diferite forme: liniară, spirală și de ghem. În repaus se găsesc sub formă de ghem. În timpul alungirii macromoleculele se alungesc trecând prin forma spirală la cea liniară.

La temperaturi ridicate are loc o alunecare a macromoleculelor oferind cauciucului o plasticitate, comportându-se ca un lichid cu vâscozitate mare.

În procesul de vulcanizare are loc o suprimare a plasticității. Se realizează legături rare între molecule, permițând mobilitatea segmentelor, elasticitatea nefiind afectată.

Vulcanizarea se poate realiza la cald, prin încălzirea cauciucului în amestec cu sulf la temperaturi cuprinse între 130-140°C.

Vulcanizarea la rece se realizează prin tratarea cauciucului cu vapori de protoclorură de sulf.

**Gutaperca** este tot un cauciuc natural obținut din unele plante din familia Sapotaceae. Latexul acestora se coagulează repede în contact cu aerul.

### **Cauciucul ciclizat**

Prin tratarea cauciucului cu acizi tari se obțin produse plastice numite **termoprene**, care sunt folosite ca materie primă pentru adezivi.

Adezivii pe bază de cauciuc sunt: clorocauciucul, hidroclorcauciucul și cauciucul oxidat.

Clorocauciucul se obține prin barbotarea clorului gazos într-o soluție de cauciuc. Hidroclorcauciucul este obținut prin tratarea soluției de cauciuc natural cu acid clorhidric și cloroform.

Prin oxidarea cauciucului se obțin, de asemenea, produși cu capacități adezive.

### **Biodeteriorarea cauciucului**

Cauciucul este mai puțin rezistent la acțiunea agenților biodeterioratori decât credem noi; atât cauciucul natural este și cel sintetic.

Cauciucul natural pur este un amestec de hidrocarburi cu formula  $(C_5H_8)_n$ .

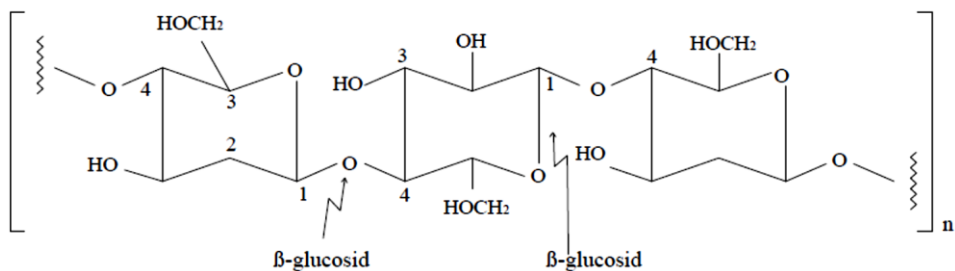
Eaton și Grenham (1915) au confirmat efectul distructiv al microbiotei asupra cauciucului. Ca urmare a atacului unor bacterii și ciuperci cauciucul își pierde rezistența, elasticitatea și consistența, devine sfărâmicios și adesea se gonflează.

Între speciile cele mai frecvente care produc biodegradarea cauciucului menționăm: *Actinomyces fuscus*, *Micrococcus prodigiosus*, *Mycobacterium rubrum*, *Pseudomonas fluorescens*, *Aspergillus oryzae* etc. Atât la suprafață, cât și în profunzimea substratului de cauciuc se formează bioskene caracteristice, care determină procesul de biodegradare. Bioskenele pot fi diferite structural și funcțional, unele fiind aerobe, altele anaerobe.

## Celuloza

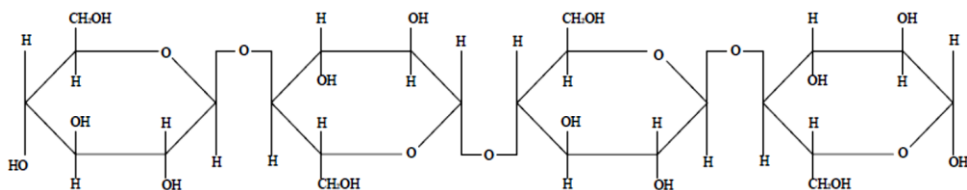
Este un polimer format din unități repetate de **celbioză**.

Corey (1987) reprezintă astfel aceste unități.<sup>40</sup>



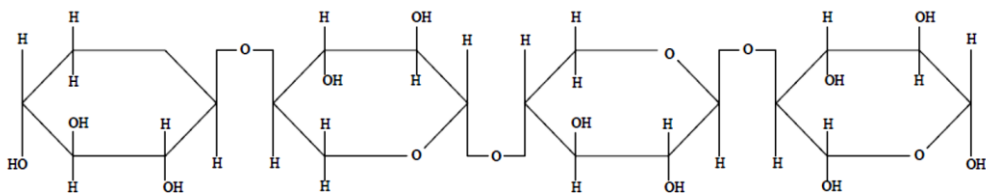
### Structura celbiozei

Structura chimică a celulozei poate fi astfel reprezentată astfel:



### Structura chimică a celulozei

Mai jos prezentăm molecula hemicelulozei:



### Structura chimică a hemicelulozei

<sup>40</sup> Carey A. Francis, 1987, *Organic chemistry*, McGraw-Hill Book Company, New York, London.

Se consideră că celuloza naturală are g.m.  $1.5 \times 10^6$  dal. Mărimea unei molecule de anhidroglucoză ar fi de  $0,5 \mu\text{m}$ .

În condiții de laborator se pot obține celuloze modificate fizic sau chimic prin tratare cu acizi sau alcali (trinitrofenil-celuloza sau carboximetil-celuloza), după cum ne precizează Zarnea (1994).

Fiind un polimer unitățile repetitive se pot desfășura în lanț; acesta ar putea avea lungimi nedefinite. Celuloza nu se poate păstra în natură în structura sa primară; structurile secundare, terțiare și chiar cuaternare îi conferă stabilitate și rezistență la degradarea enzimatică.

Se consideră că 100 de molecule de celuloză sunt legate și formează **fibrile elementare**, numite și **protofibrile**. Acestea au lungimea de circa  $100 \text{ \AA}$ , lățimea de  $40 \text{ \AA}$  și grosimea de  $30 \text{ \AA}$ . Protofibrilele sunt formate din molecule de celuloză unite prin punți de H. Cu cât gradul de polimerizare crește cu atât forța de asociere este mai puternică.

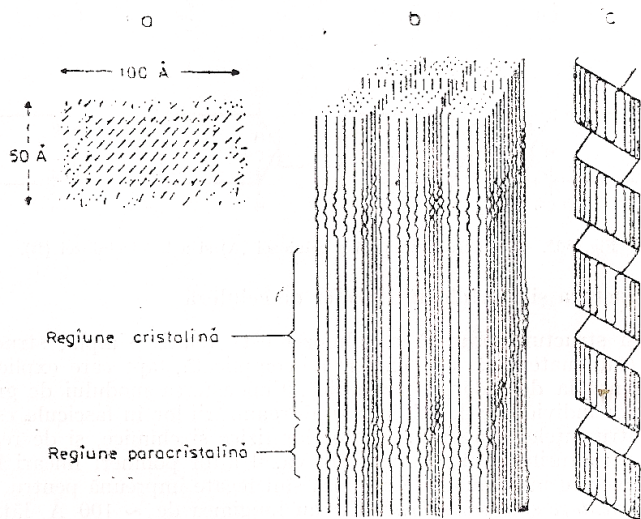
Fibrilele elementare reprezintă unitățile structurale a ceea ce vom numi microfibrile, fibrile și macrofibrile.

Astfel, un număr de 20-25 de fibrile elementare se unesc și formează o **microfibrilă**. La rândul lor microfibrilele se asociază (în grupe de câte 250 de microfibrile) formând o **fibrilă**. În jur de 1500 de fibrile se asociază la rândul lor, formând o fibră macroscopică.

Zarnea (1994) ne precizează, pe baza studiilor efectuate de Cowling (1975) că fiecare microfibrilă are o regiune centrală numită **core** și una periferică numită **teacă** paracristalină (fig.39).

Pe lungimea lor microfibrilele de celuloză au zone cu o ordonare foarte regulată a moleculelor de celuloză formând așa-numitele **regiuni** cristaline și zone cu moleculele de celuloză mai puțin ordonate, numite zone **paracristaline** sau **amorfe**. Zonele paracristaline sunt cele mai vulnerabile la atacul agenților fizico-chimici. În organizarea lor moleculele de celuloză nu au o dispoziție liniară simplă, ci se rulează, făcând o elice strânsă; în felul acesta structura devine mult mai

rezistentă. O astfel de răsucire elicoidală ne trimite cu gândul la moleculele de acizi nucleici care formează elicele vieții.



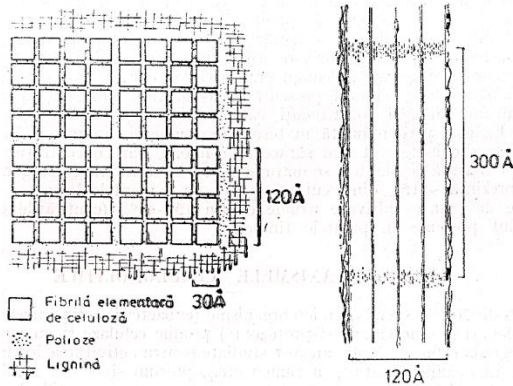
**Fig.39.** Reprezentarea schematică a structurii microfibrilelor de celuloză (după Cowling, 1975)

Această structură extrem de ordonată ne explică rezistența celulozei care nu poate fi descompusă în intestinul animalelor.

După cum precizează Fengel (1971) fibrilele elementare de celuloză sunt cimentate prin diferite polioze, cum ar fi hemiceluloza formând microfibrile. Microfibrilele sunt, de asemenea, înconjurate de lignină și de unele polioze (fig. 40).

### **Biodegradarea celulozei**

Prin structura sa celuloza este deosebit de stabilă și de rezistentă; este cu greu atacată chiar de enzimele celulozolitice. În experimentele efectuate în laborator s-a constatat că rata degradării celulozei este de până la 0,026% în culturile pure de microorganisme și de 0,066% în culturi mixte.



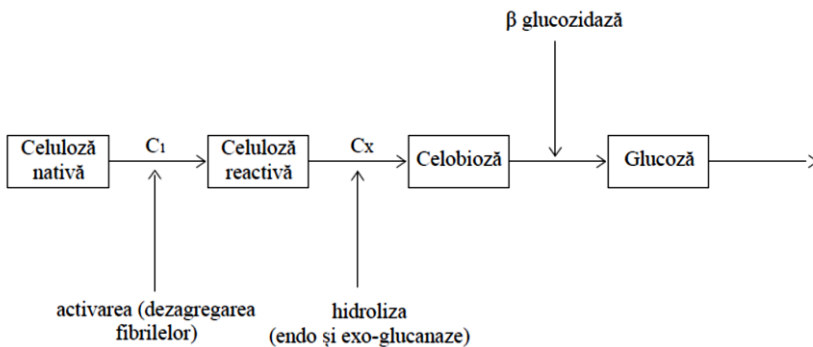
**Fig.40.** Reprezentarea grafică a modului de organizare ultrastructurală a componentelor pereților celulelor lemnului (după Fengel, 1971)

Desigur că atacul este orientat asupra zonelor paracristaline. Fragmente rezultate devin mai vulnerabile atacului enzimatic.

Degradarea celulozei se realizează în două etape:

- **etapa nehidrolitică** ( $C_1$ ) care constă în dezagregare catenelor de celuloză;
- **etapa hidrolitică**, controlată de enzimele hidrolitice ( $C_x$ ) exo-endogluconazice, care finalizează descompunerea complexului polimeric.

Degradarea se desfășoară după schema:



**Fig.41.** Biodegradarea enzimatică a celulozei

Bayer (1983), citat de Zarnea (1994) consideră că celulozele au adeziune specifică pentru filamentele de celuloză ca urmare a acțiunii unui **factor de legare**. Lamed și col al. confirmă această ipoteză. Ei au urmărit atacul speciei *Clostridium thermocellulolyticum* și au constatat că celulozele se pot agrega formând unele complexe care au fost numite **celulosomi**. Aceștia reprezintă complexe multicelulozice. Astfel de complexe ar putea fi întâlnite la toate organismele cu activitate celulozolitice.

Celulosomii ar fi structurile care fac posibilă legarea enzimelor celulozolitice de microfilamentele de celuloză. Celulosomii se pot asocia și forma policelulosomi. La contactul lor cu microfilamentele de celuloză deschid „coridoare de contact”.

Principalele funcții ale celulosomilor ar fi:

- asigură menținerea concentrată a celulozelor, nepermițând dispersia lor în mediu;
- favorizează legarea bacteriilor celulozolitice de substratul nutritiv (microfibrilele de celuloză);
- asigură atacul substratului nutritiv în mod simultan în diferite puncte;
- asigură canalizarea produselor rezultate din degradare spre celulă pentru a fi valorificate.

### **Bacteriile celulozolitice**

Bacteriile au principalul rol în biodegradarea celulozei, asigurând intrarea acestei substanțe în circuitul bio-geo-chimic. Dintre cele mai comune menționăm:

*Bacillus cereus*, *B. licheniformis*, *B. polymyxa*, *B. subtilis*, *Cellulomonas fini*, *C. fermentatus*, *C. uda*, *Clostridium cellulovorans*, *C. cellulolyticum*, *C. stercorarium*, *C. thermocellum*. Dintre Actinomicete mai importante sunt speciile termofile aerobe: *Thermomonospora curvata*, *T. fusca*, *Thermopolyspora* sp., *Thermoactinomyces* sp., iar dintre Myxobacterii: *Cytophaga* sp., *Sporocytophaga* sp.



Un rol important îl au bacteriile celulozolitice în existența mamiferelor ierbivore rumeătoare. În rumenul acestora populații masive de bacterii celulozolitice descompun celuloza alături și de alte grupe de organisme. Dintre cele mai comune menționăm: *Butyrivibrio fibrisolvens*, *Ruminococcus albus* și *R. flavefaciens*.

Fungii au de asemenea capacitatea de a sintetiza enzime celulozolitice.

Cercetările au pus în evidență trei tipuri majore de enzime celulozolitice:

1. **Endo- $\beta$ -1,4-glucanaza**(1,4- $\beta$ -D)-glucan-4-glucan hidrolaza, care hidrolizează celulozele și celodextrinele. Nu atacă celobioza.
2. **Celobiohidrolaza (CBH)** acționează asupra celulozei eliberând unități de celobioză. Este o exo- $\beta$ -1,4- glucanază (1,4- $\beta$ -D-glucancelobiohidrolază). Hidrolizează celodextrinele, nu și celobioza. Se pare că hidrolizează până la 80% din celuloza cristalină.
3.  **$\beta$ -glucozidaza** ( $\beta$ -D-glucozid glucohidralaza) hidrolizează celobioza și oligozaharidele. Nu atacă structurile moleculare mari (celuloza și celodextrinele).

Sunt numeroase genuri de fungi care provoacă biodegradarea celulozei. Dintre genurile cele mai comune menționăm:

*Alternaria*, *Aspergillus*, *Botrytes*, *Cephalosporium*, *Chaetonium*, *Chrysosporium*, *Dematium*, *Fusarium*, *Hurmicola*, *Macrosporium*, *Myrothecium*, *Penicillium*, *Phoma*, *Trichoderma*, *Verticillium* etc. (Zarnea, 1994).

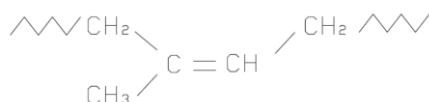
### Degradarea polimerilor

În structura unor obiecte de patrimoniu pot intra diferiți polimeri naturali sau sintetici. Polimerii naturali sunt de origine vegetală sau animală: celuloza, hemiceluloza și lignina sunt de origine vegetală, în

timp ce cheratina, chitina sunt în special de natură animală, însă nu numai. Între polimerii sintetici cel mai des întâlniți menționăm: polistirenul, polietilena, polivinil-clorura, polivinil-acetatul, polimetil-acrilatul etc.

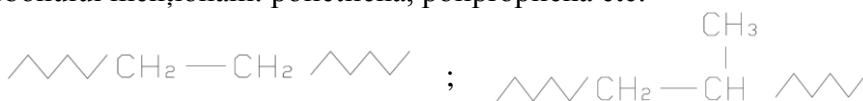
Polimerii sunt macromolecule care sunt alcătuite din unități repetitive ale lanțului. Dacă sunt formați din unități repetitive de același fel este vorba de homopolimeri. Dacă în lanțul macromoleculii se repetă structuri diferite atunci este vorba de heteropolimeri.

Între homopolimeri cauciucul natural (cis-poliizoprenul) prezintă structuri repetitive bazate pe carbon.



**Cauciucul natural.**

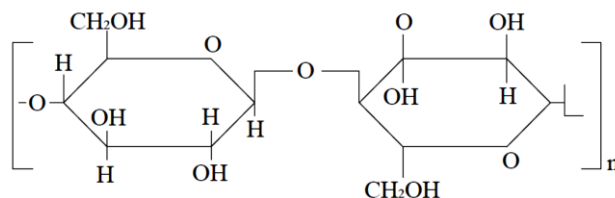
Între polimerii sintetici care prezintă structuri repetitive ale carbonului menționăm: polietilena, polipropilena etc.



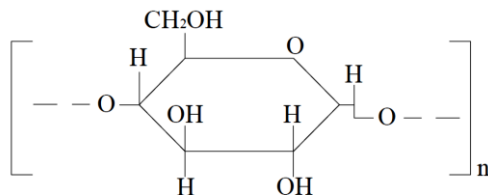
**Polietilena**

**Polipropilena**

Între polimerii naturali cu heterolanțuri putem diferenția polimeri de natură vegetală și de natură animală. Celuloza și amidonul sunt cei mai răspândiți polimeri de natură vegetală. Celuloza este cel mai răspândit polimer natural de pe glob.

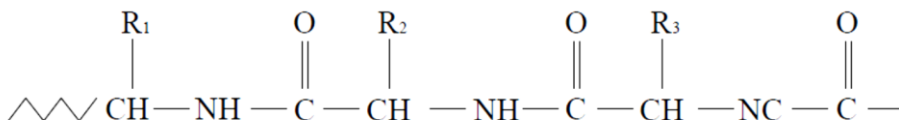


**Celuloza**

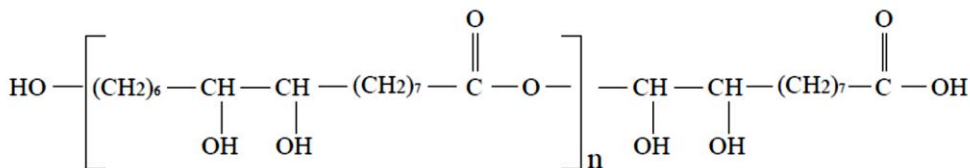


### Amidon

În ceea ce privește polimerii cu heterolanțuri de natură animală sunt proteinele, care au un lanț polipeptidic:



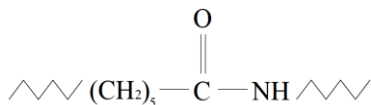
O structură particulară o prezintă **șelacul**, un polimer sintetizat de insecte.



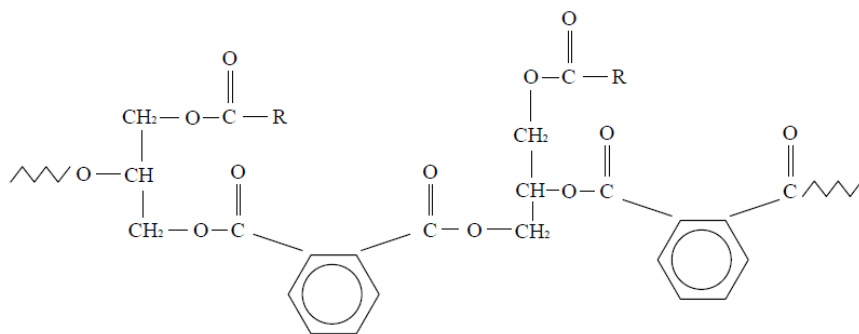
### Fragment din macromolecula de șelac

Polimerii sintetici au, de asemenea structuri diferite. Unii au macromoleculele alcătuite din molecule repetitive destul de simple: poliamida, cauciucul siliconat.

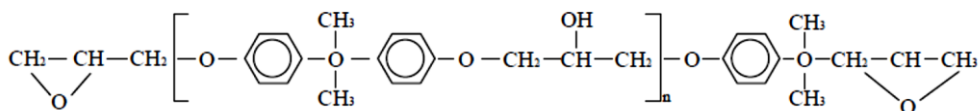
Alți polimeri sintetici pot fi alcătuiți din molecule foarte complexe, cum unele rășini alchilate și epoxilate:



### α – poliamidă (Nylon 6)



**Rășină alchilată**



**Rășină epoxiliniară**

Polimerii sunt structuri de rezistență, care nu se degradează ușor. Totuși, dacă sunt expuși vreme îndelungată la acțiunea unor factori organici (căldură, lumină, atmosferă, apă și factori biologici) se pot descompune în produși mai simpli sau mai complecși.

**Căldura** poate produce degradarea oricărui polimer atunci când ajunge la temperaturi mari. Nu este vorba de temperatura camerei, oricât de mult ar varia ea.

Astfel PVC-ul începe să-și schimbe culoarea la temperaturi mai mici de 200°C, în timp ce PTFE-ul (politetrafluoretilena) este afectată doar la temperaturi de peste 500°C; cauciucul și polistirenul suferă degradări la temperaturi cuprinse între 350-375°C.

McNeill (1989) demonstrează efectul temperaturii asupra procesului de degradare a unor polimeri.<sup>41</sup>

<sup>41</sup> McNeill I.C., 1989, *In comprehensive polymer science*, vol.6, Ed. Eastmand.

Temperatura ridicată determină procesul de depolimerizare. Macromoleculele sunt descompuse în monomeri, dimeri sau trimeri.

Polimetilmetacrilatul (PMMA) se descompune în monomeri.

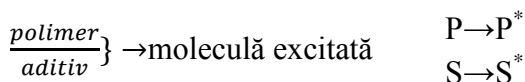
Polistirenul se descompune în cea mai mare parte în monomeri, însă pot apare și dimeri și trimeri și chiar lanțuri polimerice mai mari. În schimb polipropilena și polietilena se descompune în mici cantități de monomeri și lanțuri polimerice mai mari.

McNeill (1989) prezintă produșii de degradare care apar la unii polimeri care au fost încălziți până la 500°C. Astfel:

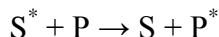
- **polistirenul** se descompune în monomerul stiren (circa 50%) și dimeri și fragmente mai scurte de lanț;
- **cauciucul natural** se descompune în izopren, dipentenă și fragmente scurte de lanț;
- **polimetilmetacrilatul** se descompune în monomeri;
- **polietilena** se descompune în fragmente de lanț de diferite mărimi; dar și hidrocarburi saturate volatile și nesaturate.

Lumina poate produce un fenomen de fotodegradare a polimerilor. Efectul cel mai distructiv îl au razele UV. McNeill (1989) consideră că procesele de fotoliză s-ar desfășura în 4 etape:

1. Absorbția radiației incidente de către polimeri sau de către aditivul din polimer sau chiar impurități:



2. Transferul de energie



3. Homoliza moleculei excitate a polimerilor:



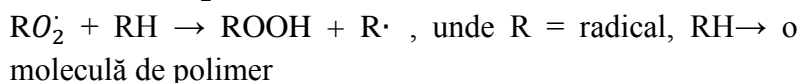
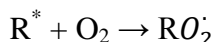
4. Efectul asupra macroradicalilor:

- disproporționarea ;
- ruperea lanțului;
- ruperea lanțului cu transfer intermolecular;

- depropagarea până la monomer;
- formarea de punți transversale.

Îngălbenirea polimerilor este des întâlnită, de asemenea, decolorarea lor. La PVC decolorarea determinată de lumină se aseamănă cu cea produsă de temperatură.

Gazele din atmosferă pot provoca deteriorarea polimerilor. Astfel, oxigenul poate determina o degradare oxidativă a unor polimeri. Degradarea oxidativă are loc atunci când sub acțiunea diferiților factori apar radicali liberi.

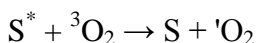


Hiperoxidul format (ROOH) este instabil atât din punct de vedere termic cât și fotolitic. Sub acțiunea acestor factori se poate descompune dând naștere la:



Ca urmare a acestei reacții se produce ruperea lanțului cu formarea unui macroradical care poate continua procesul de degradare.

Degradarea polimerilor determinată de oxigen poate avea loc și în prezența luminii, mai ales a unui detector de lumină (S) care absoarbe lumina, în special cea ultravioletă. Se produce astfel o formă excitată a oxigenului -  $^1O_2$  (McNeill, 1989).



Molecula de oxigen activată poate ataca diferite grupări în lanțurile de hidrocarburi saturate.

În situația în care atmosfera este poluată cu oxizi de azot și sulf (NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>) și cu ozon se poate iniția atacul hidrolitic al unor polimeri. Se consideră că NO<sub>2</sub> poate funcționa ca un detector de lumină pentru formarea moleculei excitate a oxigenului ( $^1O_2$ ).

## Biodeteriorarea sticlei

Cu greu a fost acceptată ideea că sticla poate fi deteriorată și de unii factori biologici, alături de cei fizici și chimici. O sticlă curată, ștersă cu atenție și grijă pare a fi asemenea unui deșert lipsit de viață. Paradoxal este că chiar și cele mai aride deșerturi nu sunt lipsite de viață. Este suficient să cadă puțină ploaie pentru a vedea cum acesta revine la viață. Nu același lucru îți sugerează un geam prăfuit, plin de excremente de păsări și de insecte. Pe sticlă se depune praf format din particule minerale, dar și organice. Acestea creează un mediu prielnic pentru unele specii de microorganisme care se fixează pe sticlă și nisip să viețuiască.

Mellor (1924) a fost primul biolog care a demonstrat că sticla poate fi supusă și unui proces de biodeteriorare. Atacul microorganismelor asupra sticlei este legat de realizarea unui film biologic pe suprafața acesteia, întreținut, în primul rând, de fixarea anterioară a unor particule de praf, excremente de insecte și de păsări, substanțe organice particulare moarte antrenate de picăturile de ploaie etc. Un rol important îl are și compoziția sticlei.<sup>42</sup>

Ceea ce trebuie să înțeleagă specialiștii din domeniul conservării bunurilor de patrimoniu este că procesul de biodeteriorare nu este generat de o singură specie de microorganisme, ci de un complex de specii, care formează o comunitate microbială (bioskenă), care funcționează ca un tot unitar.

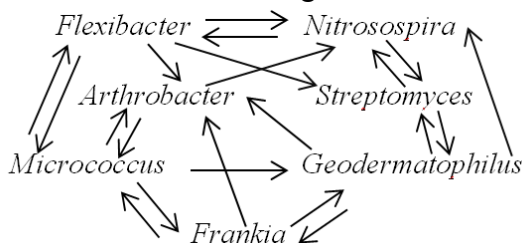
Filmul biologic fixat la nivelul sticlei determină leșierea, corodarea, mineralizarea și formarea de cruste ca urmare a mobilizării

---

<sup>42</sup> Mellor E., 1924, *The decay of window glass from the point of view of the lichenous growth*, J. Soc. Glass Technol., 8:182-186.

unor metale mono- și divalente din structura acesteia (Drewello, 1998).<sup>43</sup>

Rölleke S. et al. (1999) prezintă un complex de specii de bacterii care produc biodeteriorarea sticlei. Acestea formează bioskene caracteristice unor astfel de filme biologice care atacă sticla (fig.42).



**Fig.42.** Bioskenă caracteristică sticlei biodeteriorate

Astfel de bacterii sunt aerobe, microaerofilice sau facultativ aerobe; sunt bacterii oligotrofe, care populează un spectru larg de microhabitate, cu cantități mici de nutrienți. Se fixează mai ales pe sticla acoperită cu praf și excremente.

Unele actinomicete pot penetra sticla ca urmare a capacităților de a sintetiza diferiți acizi organici și pigmenți.

Sabine Rölleke et al. (2000) prezintă modul în care unele actinomicete provoacă procese de biodeteriorare.<sup>44</sup>

Sticla de la Catedrala Cologne prezintă zone biocorodate; au fost identificate unele specii de fungi și bacteriile *Micrococcus*, *Streptomyces* și *Arthrobacter*.

<sup>43</sup> Drewello R., 1998, *Mikrobiel indezerte Korrasion von Silikateglass unter besonderer Berücksichtigung von Alkali – Erdolaki-Silicatglasern*, Thesis, Univ. Erlangen-Nürnberg.

<sup>44</sup> Rölleke Sabine, Gurtner Claudia, Pinar Guadalupe, Lubitz Werner, 2000, *Molecular approaches for the assessment of microbial deterioration of objects of art* In *Of Microbes and art*, Edited by Ohio Ciferri, Piero Tiano, Giorgio, Kluwer Academic/ Plenum Publishers. New York, p.39-48.



## Biodeteriorarea metalelor

După cum precizează Miller și King (corodarea sau ruginirea metalelor în medii umede este un fenomen electrochimic. Însă Menzies (1971) ține să ne precizeze că aceste procese electrochimice pot fi inițiate și stimulate către unele microorganisme. Prin diverse activități metabolice microorganismele influențează procesul de corodare a metalelor:

- absorbția nutrienților și chiar a oxigenului;
- secretarea și eliberarea de metaboliți corozivi (acizi organici);
- producerea de acid sulfuric din produși care conțin sulf sub influența bacteriilor chemolitotrofice, cum ar fi *Thiobacillus*;
- bruierea procesului catodic de corodare în absența oxigenului de către unele bacterii sulfat reducătoare.

### Corodarea determinată de absorbția de nutrienți

Diferite specii de bacterii, drojdii, ciuperci filamentoase și alge formează colonii la suprafața metalelor care absorb unii nutrienți și chiar oxigenul. Când colonia devine mare ea se poate autoîntreține chiar dacă nu mai absoarbe nutrienți din substratul metalic.

Astfel de „celule de corodare” se întâlnesc în sistemele industriale de răcire, dar nu numai. Inițierea acestor celule este favorizată de unele reziduuri care se găsesc în ape și a unor alge cu rol în formarea unor astfel de „celule de corodare”. Se realizează culturi mixte de microorganisme (bacterii, mucegaiuri, alge). Astfel, specia *Pseudomonas aeruginosa* este cunoscută ca formatoare de „celule de corodare”. De fapt, este o microfloră tipică, caracteristică sistemelor de răcire formată din specii ale genurilor: *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas*, *Gallionella*, *Crenathrix*.

Unele specii de ciuperci se pot asocia acestor bacterii, sau inițiază singure „celule de corodare”: *Aspergillus*, *Alternaria*,

*Penicillium*, *Trichoderma*, *Monilinia* etc. Se cunosc și unele alge care pot forma astfel de celule pe suprafețe metalice, provocând fenomenul de corodare: *Chroococcus*, *Oscillatoria*, *Chlorococcus*, *Navicula*, *Scenedesmus*, *Ulothrix* etc.

Astfel de procese de corodare pot apărea și pe obiectele metalice care sunt menținute în condiții de umiditate ridicată, mai ales dacă sunt puse în contact direct cu solul.

### **Corodarea provocată de acizii organici**

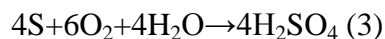
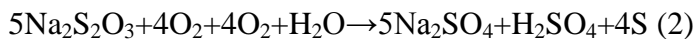
Foarte multe microorganisme anaerobe sau rezistente în medii cu puțin oxigen prezintă un metabolism de fermentare care conduce la formarea de acizi organici, cum ar fi acizii lactic, citric, fumaric etc. Ajunși la nivelul substratului metalic acești acizi provoacă fenomenul de corodare. Pe lângă metalele feroase sunt afectate și multiple metale neferoase. Este cunoscută acțiunea dăunătoare a speciilor *Amorphotheca resinae* și *Cladosporium resinae* care produce pagube mari rezervelor de kerosen.

Obiectele de patrimoniu atacate de astfel de microorganisme pot fi deteriorate pierzându-și valoarea.

### **Corodarea datorată producerii de acid sulfuric**

Unele specii de *Thiobacillus* obțin energie pentru fixarea carbonului (CO<sub>2</sub>) prin reacții de oxidare a sulfului, sulfitului de hidrogen și ai altor compuși ai sulfului. De asemenea, pot oxida ionii feroși până la ioni ferici.

*Thiobacillus* poate realiza după cum precizează Purkiss (1971) următoarele serii de reacții interconectate care conduc la forma acidului sulfuric liber.



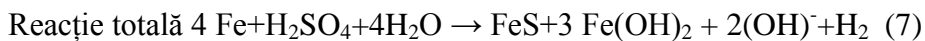
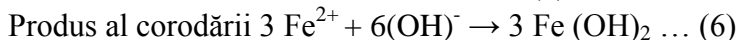
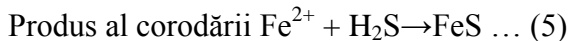
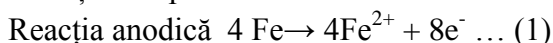
*Thiobacillus ferrooxidans* este un microorganism utilizat în recuperarea metalelor din minereuri.

*Thiobacillus* se găsește în sol și se poate fixa pe obiectele metalice care conțin și urme de sulf, producând corodarea acestora.

### **Corodarea de către bacterii sulfat-reducătoare**

Se știe că în solurile argiloase corodarea obiectelor de fier îngropate este deosebit de puternică.

Stickland (1931) consideră că mecanismele de corodare s-ar desfășura după cum urmează:



O astfel de corodare poate fi determinată de diferite specii de *Desulfovibrio*.

### **Degradarea microbiană a substanțelor xenobiotice**

Acceptând existența reală a marelui circuit bio-geo-chimic acceptăm și ideea că toate substanțele din natură intră în acest mare circuit. Ne referim de fapt la substanțele naturale, de origine organică. Începând din a doua jumătate a secolului al XX-lea au apărut însă substanțe sintetice, care nu mai sunt supuse procesului de biodegradare.

Aceste substanțe fac obiectul poluării de astăzi a mediului. Putem accepta astfel **principiul infaibilității microorganismelor (Principle of microbial infaibility)** formulat de Alexander (1954)?<sup>45</sup>

În natură, au apărut substanțele xenobiotice: substanțe rezistente la biodegradare care nu pot fi integrate în circuitul bio-geo-chimic.

Dacă în 1987 Jain și Stiller comunicau lumii științifice că în natură au fost introduse peste 5 milioane de substanțe xenobiotice, în zilele noastre numărul lor nu mai poate fi apreciat.<sup>46</sup>

Unele dintre aceste substanțe sunt folosite la confecționarea unor bunuri de patrimoniu.

**Alchil-benzen sulfonații (ABS)** intră în compoziția detergenților. Produc spumă la suprafața apelor poluate.

Substanțele xenobiotice contaminează toate mediile: apă, sol, aer. Persistă mult timp în mediu deoarece nu sunt biodegradabile.

Alexander (1964) numește aceste substanțe recalcitrante deoarece sunt refractare la biodegradare. Ca urmare se pot acumula în medii și au efect ecologic negativ.

Sunt unele substanțe organice de natură biologică cu un mare grad de recalcitrantă. Astfel au fost găsite:

- **piei tăbăcite**, în sol argilos, vechi de  $1,9 \times 10^3$  ani;
- **lemn**, în depozite de turbă, vechi de  $1,9 \times 10^4$  ani;
- **chitină** – fosile de *Hyolithelus*, vechi de  $5,5 \times 10^8$  ani;

În degradarea unor substanțe xenobiotice se poate ajunge la apariția unor produși vii, cu efect oncogen sau toxici.

Substanțele xenobiotice poluante se împart în trei mari categorii (Zarnea, 1994):

- produși organoclorurați;
- produși alchil-benzen-sulfonați;

---

<sup>45</sup> Alexander C., 1964, *Biochemical ecology of some microorganisms*, Ann. Rev. Microbial., 18:217-252.

<sup>46</sup> Jain R., Sayler G.S., 1987, *Problems and potential for in situ treatment of environment pollutants by engineered microorganisms*. Microbial. Sci, 4: 59-63.

- produși organo-fosforici.

Compușii organoclorurați numiți și organohalogați domină în natură la ora actuală. Acești produși conțin clor sau fluor care se utilizează la unele hidrocarburi alifaticе, aromatice sau heterociclice. Datorită faptului că legăturile carbon-clor (C-Cl) și carbon fluor (C-F) necesită o mare cantitate de energie pentru clivare le conferă o mare stabilitate chimică și biologică.

În categoria substanțelor organoclorurate menționăm:

1. – insecticide: DDT, lindan;
2. – bifenilii policlorurați (BPC), care sunt folosiți în industria lacurilor, vopselelor, cernelurilor tipografice și în industria textilă ca aditivi auxiliari;
3. - **freonii** sau **foranii**, care sunt hidrocarburi alifaticе cu greutate moleculară mică. Sunt gaze inerte utilizate ca solvenți pentru vopsele, cosmetică etc.;
4. - polimerii sintetici, de tip polietilenă, clorură de polivinil, polistiren etc.

Degradarea substanțelor xenobiotice se poate, totuși, realiza prin două mecanisme: mineralizare și co-metabolism. Prin mineralizare are loc eliminarea pesticidelor.

Numeroase substanțe xenobiotice (mai ales pesticidele organofosforice) nu pot fi folosite de microorganisme ca sursă de carbon și energie, neputând fi eliminate din mediu. Pot fi însă modificate sub acțiunea microorganismelor. Aceste microorganisme sunt capabile să oxideze o substanță fără a o utiliza ca sursă de carbon și energie. Transformând substanța respectivă, aceasta va putea fi folosită de alt microorganism.

Procesul prin care o bacterie oxidează o substanță fără a fi capabilă să o utilizeze ca sursă de carbon și energie a fost numită de Foster (1962) **co-oxidare**. Jensen (1963), citat de Zarnea (1994) propune conceptul de **co-metabolizare**.

Co-metabolismul este procesul de transformare a unui substrat, care nu permite creșterea unui microorganism. Microorganismul este „ajutat” să degradeze substratul respectiv de carbon și de energie.

Cercetările au evidențiat faptul că degradarea ligninei de către speciile de fungi *Phanerochaete chrysosporium* și *Coriolus versicolor*, care produc putregaiul alb prezintă cu necesitate formarea unui substrat de creștere (glucoză sau celuloză). Cantitatea de lignină degradată depinde de cantitatea substratului de creștere (Zarnea, 1994).

Datele experimentale au demonstrat că foarte multe specii de bacterii și de microfungi pot realiza degradarea unor substanțe xenobiotice din sol și din apă.

Astfel, *Aerobacter aerogenes*, *Klebsiella pneumoniae* și *Escherichia coli* transformă DDT-ul în DDD; de asemenea descompun și lindanul și aldrinul. Lindanul este descompus și de algele *Chlorella vulgaris* și *Chlamydomonas reinhardtii*.

Unele specii din bacterii din genurile: *Achroligenes*, *Acinetobacter*, *Alcaligenes*, *Agrobacterium*, *Nocardia*, *Sarcina* etc. sunt cele mai active în procesul de biodegradare a unor substanțe xenobiotice.

Dintre fungi specii de *Aspergillus*, *Fusarium* și *Trichoderma* degradează diuronul, manuronul, triazinele etc.

Cercetările au demonstrat că *Pseudomonas stutzeri* poate crește utilizând produșii rezultați din activitatea lui *Pseudomonas aeruginosa*; un caz tipic de co-metabolism.

Numeroase specii de bacterii și de fungi pot îndepărta pentaclorfenolul din lacuri: *Bacillus*, *Actinobacter*, *Achromobacter*, *Nocardia*, *Sarcina*, *Xanthomonas* și specii de *Penicillium* dintre fungi.

## **Degradarea biologică a pietrelor, marmurei, gresiilor**

Putem afirma că în urmă cu 4-5 decenii încă se mai credea că rocile, marmura, zidurile, indiferent de structura lor minerală nu sunt

degradate direct de procese fizico-chimice. Factori importanți în procesul de degradare erau umiditatea și temperatura.

Desigur că umiditatea are un rol foarte important atunci când pătrunde în profunzimea rocilor și a zidurilor. Umiditatea mare asociată cu un îngheț și alternanțele îngheț-dezghet determină eroziunea și a celor mai dure structuri minerale. Aciditatea își conjugă acțiunile atât cu umiditatea cât și cu temperatura. Acizii anorganici și cei organici descompun sărurile minerale formând fisuri, crăpături și cavități în roci și în ziduri.

Deși rocile și zidurile cu multă umiditate și cu degradări erozive accentuate sunt aproape constant verzi, ca urmare a instalării algelor, apoi a mușchilor și a lichenilor și chiar a unor plante superioare iubitoare de umiditate, se consideră că acestea sunt oarecum accesorii.

Din momentul în care s-a descoperit că biodegradarea este un proces aproape universal, cercetătorii au început să-și îndrepte atenția asupra organismelor biologice care atacă rocile, marmura, zidurile etc. Cercetările au descoperit existența **filmului biologic, biofilmului** sau a **patinei (biopatinei)**, care nu reprezintă altceva decât asocieri de microorganisme care formează bioskene divers structurate. Fie că este vorba de bioskene izolate, sau asociate în consorții sau ecosisteme mari, acestea populează structurile minerale pe care le folosesc ca biotop. Biotopul nu este doar un substrat, ci o structură complexă care unifică toți factorii abiotici. Popularea unui astfel de biotop se realizează în mod eșalonat. La început se fixează unele specii autotrofe fotosintetizatoare (alge, cianoficee) și chemoautotrofe (bacterii chemoautotrofe). Prin producția de sinteză a acestora și prin moartea unor celule se formează suficientă substanță organică moartă care, împreună cu praful asigură stabilirea unor organisme heterotrofe (bacterii saprofite și fungi). Astfel, filmul biologic se îngroașă și se poate transforma într-o biodermă vegetală în structura căreia pătrund și specii de licheni, de mușchi și chiar de plante superioare. Această eșalonare de organisme biodeterioratoare se realizează progresiv, în funcție de efectele

distructive ale biofilmului și apoi ale biodermei vegetale. Trebuie să considerăm că biofilmul este o etapă precedentă biodermei vegetale. Este greu să delimitezi biofilmul de bioderma vegetală, totuși, nu trebuie să fie sinonimizate. Biofilmul, fiind format din microbiote se desfășoară doar pe orizontală, fiind monodimensional. Bioderma vegetală începe să se înalțe pe verticală asociind fungi, mușchi, licheni și plante superioare.

Deosebit de interesante sunt cercetările desfășurate de Rachael D. Wakefield et al. 1996 pe zidurile unui castel din sudul Scoției, Hermitage Castle, din secolul al XIII-lea. Gresia castelului era grav degradată, având fragmentări excesive și cruste groase colorate în roz-oranj. Crustele umflate și crăpate erau desprinse de substrat pe suprafețe mari. Degradarea gresiei era considerată ca fiind de natură fizico-chimică. Cercetătorii au prelevat probe și au constatat între granulele de rocă fragmente și celule izolate de alge: *Chlorococcum*, *Chlorella*, *Humicola* și *Trentepohlia*. *Trentepohlia* ssp. care era dominantă. Filamentele de *Trentepohlia* creșteau printre granule și se ridicau din profunzime mai mult sau mai puțin vertical către suprafață. Între rocă, filamente și celulele algale se găsea o masă mucilaginoasă care făcea din aceste structuri un tot unitar. În Scoția, în zona castelului este un climat foarte ploios, dar sunt și perioade mai uscate. Celulele algale și mucilagiul din jurul lor absorb foarte multă apă. Modificările în volum ale masei mucilaginoase prin uscare și hidratare sunt foarte mari, putându-se mări în perioadele foarte umezi până la 170%, 300% și chiar până la 2450% (Wakefield et al.1996).<sup>47</sup> Ne putem imagina ce forță de dislocare a rocilor și a zidurilor prezintă această masă gelatinoasă. Trebuie să accentuăm faptul că degradarea biochimică provocată de alge este accentuată de acizii organici produși de acestea și eliminați la exterior.

---

<sup>47</sup> Wakefield D. Rachel, Melanie I. Jones, M. Jeff Wilson, Maureen E. Young, Keith Nicholson, Dennis, C.I. Urquhart, 1996, *Investigation of decayed sandstone colonised by a species of Trentepohlia*, *Aerobiologia* 12:19-25.



Wakefield et al. 1996 surprinde în fotografiile executate la microscopul electronic modul în care diferite microorganisme își desfășoară existența formând bioskene perfect funcționale. Acestea sunt bioskene endolitice tipice. În interiorul rocilor și a zidurilor descoperim universul în care unii agenți biodeterioratori pun în circuitul bio-geo-chimic chiar și cele mai dure roci.

Wakefield et al. 1996 demonstrează, în cercetările efectuate, că în Castelul Hermitage din Scoția o comunitate microbială dominată de *Trentepohlia* determină distrugerea gresiei din zidurile acestui castel. Fisurile și cavitățile săpate în rocă permit pătrunderea filamentelor și a celulelor algale. Prin secreția de mucilagii procesul de biodegradare este cu atât mai accentuat cu cât se succed mai multe perioade de uscăciune și umiditate. Procesul de deteriorare este mult mai accentuat și de oscilațiile de îngheț-dezghet din timpul iernii.

### **Fungi meristematici care atacă pietrele și marmura**

Planeta Terra este o planetă vie. Nu ne propunem să aducem aici argumente pentru a susține teoria Gaia, conform căreia Terra este o ființă vie. Terra este vie prin biosfera sa, care o acoperă în totalitate. Fenomenul vital se manifestă în toate mediile, de la un pol la altul, de la abisurile oceanice la înălțimile alpine. Pe Planeta Albastră nu putem găsi un loc în care germenii vieții să nu rodească sau să reziste unor condiții extreme. În inima deșerturilor stâncoase sau nisipoase vom găsi pete de culoare care evidențiază prezența vieții. Petele de culoare pot reprezenta ceea ce în mod curent numim **patina** sau **biopatina**, care nu reprezintă decât ecosisteme mici sau mari, de tipul bioskenelor sau a biochorioanelor (consorțiilor).

În astfel de structuri se găsesc diferite specii de microorganisme (bacterii, alge, fungi).

Fungii negri sunt unele dintre cele mai dăunătoare specii care atacă piatra, marmura și cimentul. Astfel de fungi, asociați cu alte

microorganismele se găsesc pretutindeni în Europa, în zona mediteraneană, dar și în pustiiurile Africii, Asiei, Americii și Australiei.

Astfel de fungi formează coloni mai mici sau mai mari, de culoare neagră, în rugozitățile rocilor; au aspectul neregulat al unor conopide. Cresc extrem de încet și se extind prin creșterea izodiametrică a celulelor subdivizate. Are loc un proces de endoconidificare. Nu are loc dizolvarea peretelui celular în timpul formării conidiilor, ceea ce permite o rezistență deosebită la condiții de mediu extreme. Sunt foarte rezistente la deshidratare, trecând cu ușurință în stare de anabioză. Rezistă la acțiunea de lungă durată a razelor ultraviolete și rezistă și la șocurile osmotice, putând să supraviețuiască și în prezența sărurilor cu concentrație ridicată.

Cercetările actuale au identificat mai multe grupe de fungi negri. Sterflinger et al.(1997) prezintă mai multe specii de fungi meristematici negri fixați pe diferite monumente antice din zona mediteraneană.<sup>48</sup>

Urzi et al. (2000) prezintă numeroase specii de fungi meristematici care au efecte biodeterioratoare asupra rocilor și marmurei din zona mediteraneană.<sup>49</sup>

### ***Ascomycota***

Ordinul **Chaetothyriales**, familia **Herpotrichellaceae**,  
*Saccharomyces petricola*;

Ordinul **Dothideales**, familia **Dothideaceae**, *Aureobasidium pullulans*, *Trimmatostroma abietis* și *Hortaea werneckii*;

Ordinul **Capnodiales**, familia **Capnodiaceae**, *Capnobotryella renispora*;

---

<sup>48</sup> Sterflinger K., Krumbein W.E., 1997, *Dematiaceous fungi as a major agent for biopitting on Mediterranean marbles and limestones*, Geomicrobiol. J., 14: 219, 21 – 230.

<sup>49</sup> Urzi Clara, Filomena De Leo, Sybren de Hoog, Katya Sterflinger, 1999, *Recent advances in the molecular biology and ecophysiology of meristematic stones-hosting fungi*. In Of Microbes and Art. The Role of Microbial Communities in the Degradation and Protection of Cultural Heritage, edited by O. Ciferri, P. Tiano & G. Mastromei. Kluwer Academic: p.3-20.

Ordinul **Pleosporales**, familia **Pleosporaceae**, *Botryomyces caespitosus*.

Acești fungi negri pot coloniza aflorimente naturale pe granit, calcar, calcit și pe diferite monumente din piatră și marmură. Se fixează pe unele neregularități ale substratului. Pe marmura perfect netedă și nefisurată nu se pot fixa. De aceea forma coloniilor este variabilă, în funcție de neregularitățile substratului.

Acești fungi sunt macrocoloniali (FMC) pot fi asociați și cu unele specii de bacterii și de alge.

Sterflinger și Krumbein (1997) au constatat că există mai multe etape în stabilirea și creșterea coloniilor de FMC:

- I. **Prepenetrarea**, care constă în fixarea sporilor pe substrat. Fixarea este posibilă prin emiterea unor hife speciale de adeziune.
- II. **Penetrarea**, care se realizează prin pătrunderea hifelor în interiorul spațiilor deja existente.
- III. **Postpenetrarea**, care constă în formarea de cavități noi în care să se extindă miceliul. Deoarece acești fungi nu au secreții acide care să roadă roca, dislocarea unor bucăți de rocă se face prin forța mecanică exercitată de micelii.

Procesul de biodeteriorare se realizează în diferite moduri:

- **prin creșterea intercristalină a hifelor**; acestea se fixează pe cristalele de marmură cele mai sensibile reușind să le dizloce;
- **prin puncte de coeziune** (biopitting), când coloniile cresc în cavități deja formate, în cazul unor monumente deteriorate de alte specii.

Este cunoscută capacitatea FMC de a produce cavități de 0,3-1,5 cm<sup>2</sup> pe plăcile de marmură. Creșterea în fisuri și cavități deja formate se soldează cu lărgirea acestora.

Pinna și Salnedori (1999) au constatat fixarea coloniilor FMC pe rășină acrilică, cu care au acoperit unele fisuri.<sup>50</sup>

Adaptările fungilor meristematici negri sunt atât de mari încât aceștia pot să colonizeze singuri unele habitate extreme. În Europa sunt larg răspândiți, fiind întâlniți pe aproape toate monumentele antice din piatră și marmură din zona mediteraneană. Ei se mai numesc și **drojdie neagră**, deoarece prezintă stadii de reproducere asemănătoare cu ale drojdiilor. Temperatura optimă de dezvoltare este de 20-25°C, însă pot rezista la temperaturi de 50-60°C.

## Biodeteriorarea lânii

Ca orice produs organic și lâna poate deveni ținta atacului unor microorganisme. Dintre cele mai cunoscute specii sunt bacteriile: *Bacillus cereus*, *Bacillus mesentericus*, *B. putrificus*, *B. sulcatus* și *B. vulgatus*, iar dintre funghi: *Aspergillus* și *Penicillium*.

Atacul microorganismelor face lâna inutilizabilă ca urmare a pătrării și mirosului caracteristic.

Shaposhnikova, Kozlova și Azova (1964) considerau că actinomicetele, *Penicillium* și *Aspergillus* produc mari pagube produselor confecționate din lâna.

Mucegaiurile atacă lâna la o umiditate ridicată, până la 95%, la o temperatură cuprinsă între 25 și 40°C și la un pH ce variază între 6,5-8,5.

Lâna este cu atât mai intens atacată cu cât conține mai multe grăsimi, săpunuri, uleiuri vegetale și substanțe bogate în azot.

Henderson (1968) aduc unele date raportate privind atacul lânii murdare de către unele mucegaiuri chiar pe corpul oilor.

---

<sup>50</sup> Pinna D., Salnedori O., 1999, *Biological growth on Italian monuments restored with organic carbonatic compounds*. Of Microbes and Art. The Role of *Microbial* Communities in the Degradation and Protection of Cultural Heritage, Florence, Intern. Conf. On Microbiology and Conservation, p.149-154.

Când lâna este asociată cu bumbac, iută sau cu alte fibre celulozice atacul mucegaiurilor este și mai intens.

Degradarea lânii este provocată de enzimele proteolitice secretate de microorganisme. Aceste enzime transformă proteinele nedifuzabile în proteine difuzabile, care sunt apoi atacate de alte microorganisme care folosesc produsele de degradare. Degradarea lânii este provocată de acțiunea tripsinei asociată cu o enterokinază. Degradarea se realizează în trepte:

proteină → proteoze → peptone → polipeptide → aminoacizi

În mod normal keratina din fibre nu este atacată.

### **Biodeteriorarea încălțăminteii**

Petit și Abbott oferă unele date privind interacțiunea dintre microorganisme, temperatura picioarelor și materialele din structura încălțărilor.

Temperatura de 32-35°C și umiditatea de 80-90%, menținută prin transpirație, creează medii favorabile pentru formarea unor culturi de microorganisme.

Atacul microorganismelor este favorizat de filmele celulozice din căptușeală. Se instalează unele ciuperci celulozolice precum: *Chaetomium globosum*, *Fusarium oxysporum*, *Scopulariopsis brevicaulis* și *Verticillium lateritium*.

Dezvoltarea abundentă a microorganismelor în pantofi poate provoca atacul micotic asupra piciorului, cunoscut sub numele de „**piciorul atletului**” care constă în degradarea pielii dintre degetele picioarelor datorită acțiunii speciei *Trichophyton interdigitale*.

Ciuperca *Scopulariopsis brevicaulis* atacă atât celuloza din structura pantofilor cât și unghiile de la picioare.

Încălțăminteaa atacată de astfel de microorganisme poate fi deteriorată și în condiții de muzeu, la o temperatură de peste 30°C și o umiditate de peste 90%.

Prăfuirea încălțămintei poate însămânța sporii unor ciuperci, care devin activi în condiții favorabile.

*Chaetomium globosum*, *Scopulariopsis brevicaulis* *Fusarium oxysporum*, și *Verticillium lateritium* sunt principalele specii de fungi care pot produce biodeteriorarea încălțămintei chiar și atunci când aceasta nu este purtată.

## Biodeteriorarea țesăturilor

Prin elementele structurale de bază țesăturile pot fi de origini diferite: vegetală, animală și mixtă.

Țesăturile de origine vegetală pot fi din: bumbac, in, cânepă, iută și sisol. Acestea pot conține celuloză, hemiceluloză, lignină etc. Cu cât procentul de celuloză este mai mare, cu atât procesul de biodegradare se realizează mai greu. Se consideră ca bumbacul are peste 95% celuloză, în timp ce inul nu depășește 85%. În prelucrarea fibrelor vegetale de mulți ani se elimină lignina, ceea ce determină o reducere a rezistenței a acțiunea agenților biodeterioratori. De asemenea apretarea țesăturilor cu amidon le face mai sensibile la atacul biologic.

Multe opere de artă sunt construite din materiale de origine animală: pergament, piele, lână și mătase. Acestea au la bază proteine care depășesc 50% din greutatea uscată. Proteinele sunt formate din lanțuri de aminoacizi. Atunci când aceștia sunt dispuși linear vorbim de o **structură primară**. Dispunerea lanțurilor de aminoacizi poate fi înfășurată helicoidal de tip  $\alpha$  sau  $\beta$ , ca în cazul cheratinei, mătasei și, respectiv a firului de păr; este vorba de o **structură secundară**. **Structura terțiară** este caracteristică proteinelor globulare, iar cea **cuaternară** este proprie proteinelor care sunt formate din mai multe lanțuri polipeptidice.

Proteinele sunt fibroase și globulare. Cele fibroase sunt insolubile în apă: colagenul,  $\alpha$  cheratinele din păr și din piele și elastina. Proteinele globulare sunt solubile în apă: enzimele, albumina etc.

Pergamentul și pielea fiind produse de origine animală au la bază colagenul, care având o structură cristalină este rezistent atât ș la hidroliză cât și la atacul biologic.

Lâna are la bază cheratina care este o proteină insolubilă bogată în sulf. Mătasea naturală, cea produsă de *Bombyx mori* are la bază fibroina (60-80%) și sericina (25-30%). Fibroina are o structură cristalină; este o scleroproteină insolubilă în apă și foarte rezistentă la atacul chimic. Sericina este o albuminoidă, care se înlătură prin spălare cu apă și săpun. Pergamentul fiind format din piele de oaie, capră, vițel etc. păstrează caracteristicile acesteia. Pielea este răzuită, macerată în var, întinsă, netezită și uscată până devine o membrană translucidă. În structura sa pergamentul conține colagen, cheratină, elastină, albumine, globuline și substanțe minerale.

Pielea se aseamăna cu pergamentul. Argășirea și tăbăcirea conferă pielii anumite calități: o fac neputrescibilă și impermeabilă, măriindu-i rezistența. Rezistența la atacul biodeterioratori este dată de tipul de tăbăcire: tăbăcire vegetală, mai veche și pe bază de crom, mai modernă.

Biodeteriorarea țesăturilor este condiționată de natura fibrelor (vegetale sau animale), de lungimea, cristalinitatea și orientarea acestora și de tipul de țesătură. Țesăturile cu urzeală laxă sunt mai puțin rezistente deoarece acumulează mai multe impurități.

Cei mai activi agenți biodeterioratori ai țesăturilor de origine vegetală sunt bacteriile și ciupercile celulozolitice.

Dintre cele mai periculoase bacterii menționăm speciile: *Clostridium cellulovorans*, *C. cellulolyticum*, *Bacillus cereus*, *Cellulomonas fimi*, *C. permentos* și specii de *Cytophaya* și de *Sporocytophaya*.

Fungii având capacitatea de a sintetiza enzime celulozolitice extracelulare devin agenți biodeterioratori foarte periculoși pentru fibrele de origine vegetală. Dintre cele mai dăunătoare sunt speciile care

aparțin genurilor: *Aspergillus*, *Alternaria*, *Botrytis*, *Cephalosporium*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Phanerochaete*, *Trichoderma* etc.

Acestor agenți biodeterioratori li se pot asocia unele specii de bacterii și fungi care atacă hemiceluloza și/sau lignina. Dintre bacteriile care atacă hemiceluloza sunt cele care aparțin genurilor: *Achromobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Streptomyces*, *Coriolus*, *Helminthosporium* etc.

Dintre bacteriile care atacă lignina mai importante sunt speciile genurilor: *Pseudomonas*, *Aeromonas*, *Arthrobacter*, *Flavobacterium*, *Micrococcus* etc., iar dintre fungii ligninolitici menționăm specii ale genurilor: *Chaetomium*, *Cephalosporium*, *Poria*, *Lentinus* etc.

Țesăturile de origine animală, pielea și pergamentul devin ținta a numeroase specii de bacterii și de fungi. Acestea sunt atrase de colagen, alte proteine, lipide, substanțe minerale și unele impurități.

Dintre speciile de bacterii mai comune sunt cele care aparțin genurilor: *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Bacteroides*, *Sarcina* etc., iar dintre fungi speciile genurilor: *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Ophiostoma*, *Penicillium* și *Scapulariopsis*.

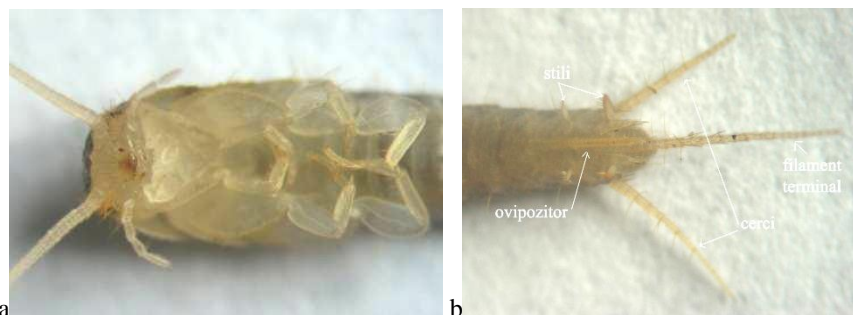
Atacul bacteriilor și ciupercilor este adesea atacat de atacul insectelor. Atât bacteriile cât și ciupercile pot realiza o „prelucrare” a substratului nutritiv făcându-l mai accesibil consumului de către insecte; în primul rând este vorba de procesele de origine vegetală.

Insectele reprezintă agenții biodeterioratori cei mai periculoși ai țesăturilor. Au capacitatea de a asimila cheratina, principalul constituent al lânii și al pieilor. De asemenea, consumă cu ușurință substanțele bogate în celuloză datorită simbiozei pe care o au cu unele organisme celulozolitice.

Din ordinul **Thysanura**, familia Lepismatidae, specia *Lepisma saccharina* L. (peștișorul argintiu) poate provoca pagube unor țesături. Specia se recunoaște după lipsa aripilor și după cele trei apendice terminale ale abdomenului (cercii și metacercul) (fig.43). Corpul este acoperit cu solzi cenușii, strălucitori, de unde și numele de peștișor argintiu. Este o specie cu un spectru foarte larg de hrănire: consumă

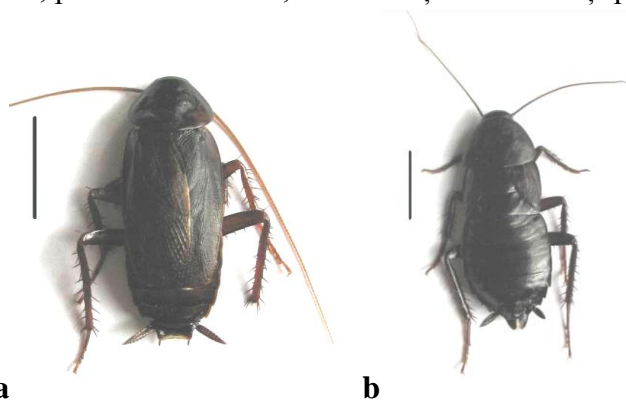


produse de panificație, cereale, plante medicinale, dar și țesături de lână sau de bumbac, insecte moarte, mătase etc. Poate produce pagube în muzee atât colecțiilor de animale naturalizate cât și țesăturilor.



**Fig. 43.** *Lepisma saccharina* - cap și torace (a) și ultimele segmente abdominale, văzute ventral, evidențiându-se stili, cercii, filamentul terminal și ovipozitorul (b) (Moldovan, 2007).

Din ordinul Blattodea, familia Blattidae o specie dăunătoare larg întâlnită este *Blatta orientalis* L. (gândacul negru de bucătărie)(fig.44). Este o specie omnivoră, polifagă: consumă resturi alimentare, cereale, legume, fructe, produse din carne, dar atacă și bumbacul și pielea.

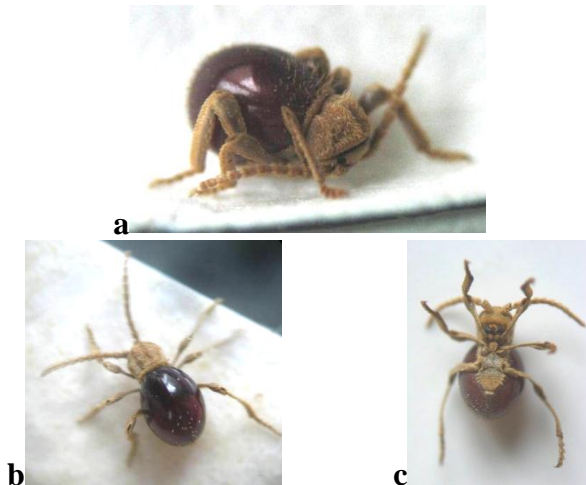


**Fig.44.** Mascul (a) și femelă (b) de *Blatta orientalis* (segmentul reprezintă 10 mm) (Moldovan, 2007).

Din ordinul Coleoptera, familia Anobiidae sunt multe specii care pot ataca și țesăturile. Speciile *Stegobium paniceum* L. și *Xestobium rufovillosum* De Geer, care atacă atât cărțile cât și lemnul atacă și copertile cărților îmbrăcate în piele sau diferite țesături.

Din familia Ptinidae diferite specii ale genurilor *Ptinus*, *Mezium* și *Niptus* pot produce pagube țesăturilor, pergamentului, pielii etc.

*Mezium affine* Boieldieu (gândacul sferic cu glugă) (fig.45).



**Fig.45.** Adultul speciei *Mezium affine* – aspect lateral (a), dorsal (b) și ventral (c) (Moldovan, 2007).

Atât adulții cât și larvele dăunează materialelor de origine vegetală și animală. Larvele pot deveni foarte dăunătoare (fig.46). Atacă lâna, pielea, papirusul și colecțiile entomologice.



**Fig.46.** Larva speciei *Mezium affine* – larva neonată pe lână (a) și într-un stadiu mai mare (b) (Moldovan, 2007).

*Niptus hololeucus* Falderman (gândacul arămiu) (fig.47) este o specie cu un larg spectru de polifagi, consumă paste făinoase, plante medicinale, condimente, hârtie, pene, blănuri, mătase naturală, lână etc. Produce adesea pagube în colecțiile din muzee.

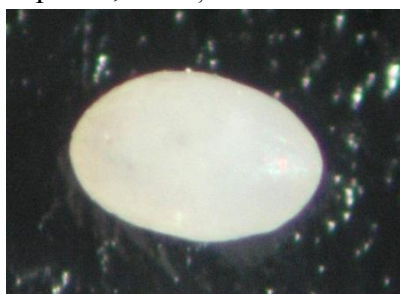
Speciile genului *Ptinus* sunt dăunătoare atât ca adulți cât și ca larve.



**Fig.47.** Adultul speciei *Niptus hololeucus* – dorsal (a) și ventral (b) (Moldovan, 2007).

***Ptinus fur* L. (hoțomanul) (fig.48)**

Este frecvent întâlnită în muzee. Este o specie cu un spectru larg de polifagie: consumă cereale, pâine, hârtie, țesături din bumbac și lână, pene, fulgi, animale împăiate, colecții de insecte etc.

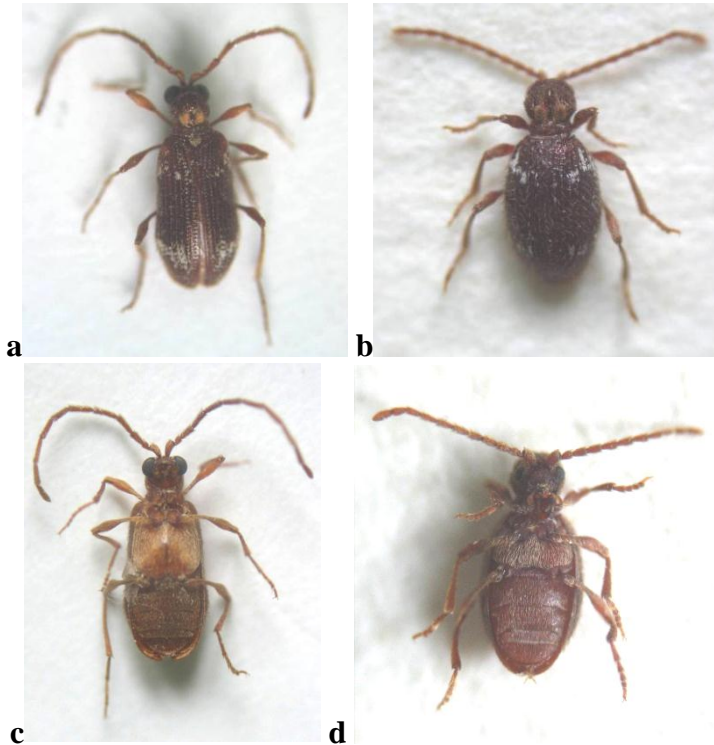


**Fig.48.** Oul speciei *Ptinus fur* (Moldovan, 2007).

***Ptinus raptor*** Sturn. (fig.49)

Este o specie întâlnită frecvent în locuințe și muzee. Larvele își construiesc pentru împupare un cocon cu particule luate din substratul nutritiv; pe care le leagă cu fire de mătase.

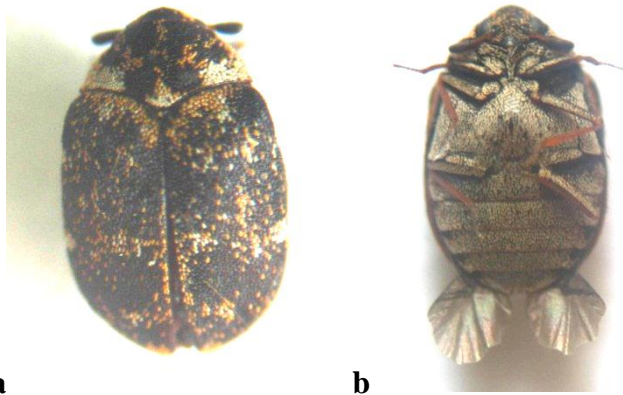
Din familia Dermatitis multele specii sunt dăunătoare țesăturilor, pergamentului, pielii, insectelor din colecții, animalelor naturalizate etc.



**Fig. 49.** *Ptinus raptor* – ♂ (a-dorsal, c-ventral) și ♀ (b-dorsal, d-ventral) (Moldovan, 2007).

***Anthrenus museorum*** L. (fig.50)

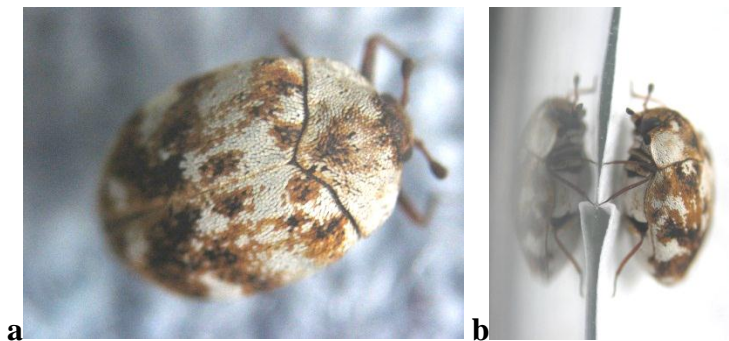
Este o specie care atacă colecțiile de insecte și animale împăiate, dar larvele pot ataca și unele țesături și pielea.



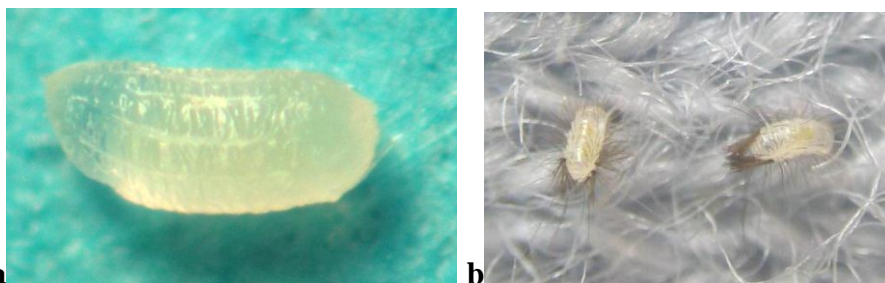
**Fig. 50.** Adultul speciei *Anthrenus museorum* (a-dorsal, b-ventral)  
(Moldovan, 2007).

***Anthrenus picturatus*** Solskij (fig.51)

Este o specie polifagă, care poate provoca pagube în colecțiile de insecte, dar atacă și pielea, lâna, cleiul de pești etc. În fig. (fig.52) putem observa unele larve neonate care se hrănesc cu lână.



**Fig. 51.** Adultul speciei *Anthrenus picturatus* – a, dorsal și b, lateral  
(Moldovan, 2007).



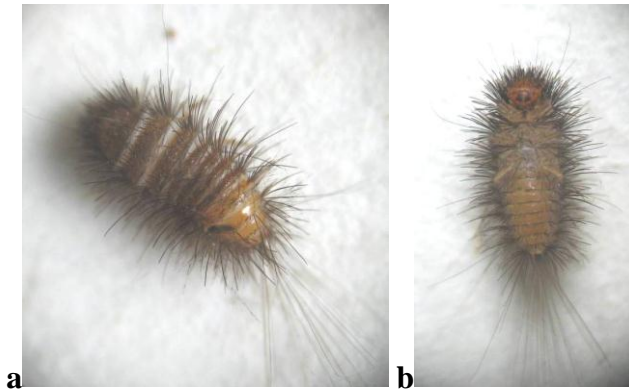
**Fig. 52.** Oul speciei *Anthrenus picturatus* (a) și larve neonate hrănindu-se pe lână (Moldovan, 2007).

***Anthrenus scrophularia* L. (fig.53)**

Este o specie comună. Consumă insecte moarte, exuvii larvare, pene, puf, păr, lână, țesături și chiar hârtie. Larvele pot produce pagube în muzee, fiind foarte vorace (fig.54).



**Fig. 53.** Adultul de *Anthrenus scrophulariae* ♀ – aspect dorsal (Moldovan, 2007).



**Fig. 54.** Larva speciei *Anthrenus scrophulariae* - aspect dorsal (a) și ventral (b) (Moldovan, 2007).

***Anthrenus verbasci* L. (fig.55)**

Este o specie frecvent întâlnită în muzee. Atacă animalele împăiate, colecțiile de insecte, dar atacă și țesăturile și mătasea.



**Fig. 55.** Adult de *Anthrenus verbasci* văzut dorsal (Moldovan, 2007).

***Attagenus pellio* L. (fig.56)**

Este o specie deosebit de dăunătoare colecțiilor de insecte și animalelor împăiate, dar larvele atacă și țesăturile și pielea.

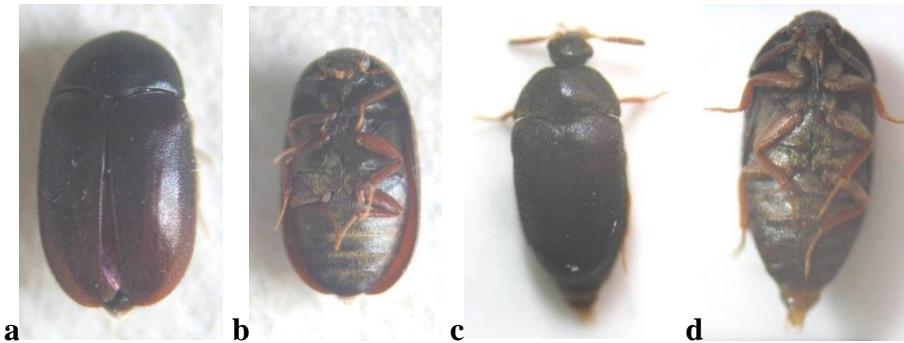




**Fig. 56.** *Attagenus pellio*, mascul (a) și femelă slab chitinizată la ieșirea din stadiul pupal (b-dorsal, c-ventral) (Moldovan, 2007).

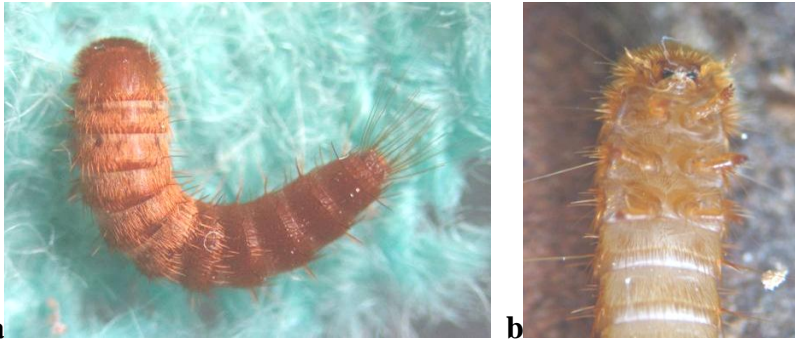
***Attagenus piceus* Olivier (fig.57)**

Este o specie dăunătoare, cu un spectru larg de polifagi. Larvele sunt deosebit de vorace (fig.58). Consumă produse cerealiere, orez, fasole, tutun, însă pot produce pagube în colecțiile de insecte etc. Au fost semnalate puternice atacuri asupra pieilor, blănurilor, textilelor; atacă și bumbacul, omul și chiar și fibrile sintetice.



**Fig. 57.** *Attagenus piceus* - femelă (a-dorsal, b-ventral) și mascul (c-dorsal, d-ventral) (Moldovan, 2007).

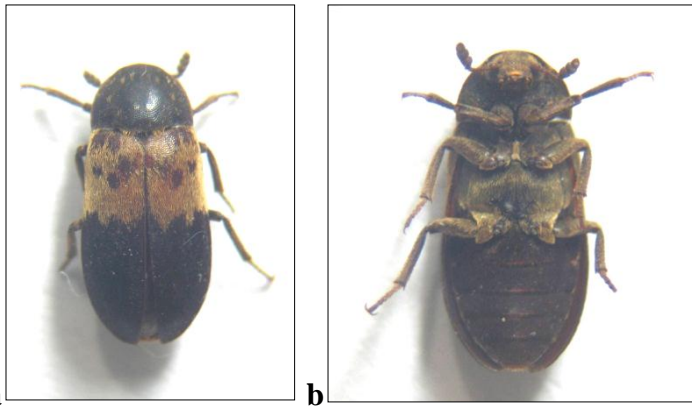




**Fig.58.** Larva speciei *Attagenus piceus* pe lână (a) și detaliu cu sternitele toracale și capul ventral (b) (Moldovan, 2007).

***Dermestes lardarius* L. (fig.59)**

Este o specie care se hrănește cu substanțe de natură animală uscate sau aflate în stare de descompunere. Atacă pielea din coperțile cărților, blănurile și țesăturile de origine animală.



**Fig. 59.** *Dermestes lardarius* ♀, aspect dorsal (a) și ventral (b) (Moldovan, 2007).

Din ordinul Lepidoptera sunt multe molii care produc pagube importante țesăturilor, blănurilor, colecțiilor etnografice. Larvele se hrănesc cu materiale de natură proteică: lână, mătase, adevizi animali, piele, blănuri, pergament etc. larvele își fac tuburi de protecție din materialul substratului nutritiv. Impuparea larvelor se face, de

asemenea, în coconi speciali, formați din particule ale substratului nutritiv.

Prezența moliilor este semnalată de coconii de protecție, de excrementele acumulate pe substratul nutritiv și strânse în grămăjoare.

Din familia **Oecopharidae** semnalăm specia *Hofmannophila pseudospretella* Staint. (fig.60 și 61). Larva se recunoaște după capsula cefalică chitinizată (fig.62). Larvele atacă lâna, blănurile și hârtia veche.

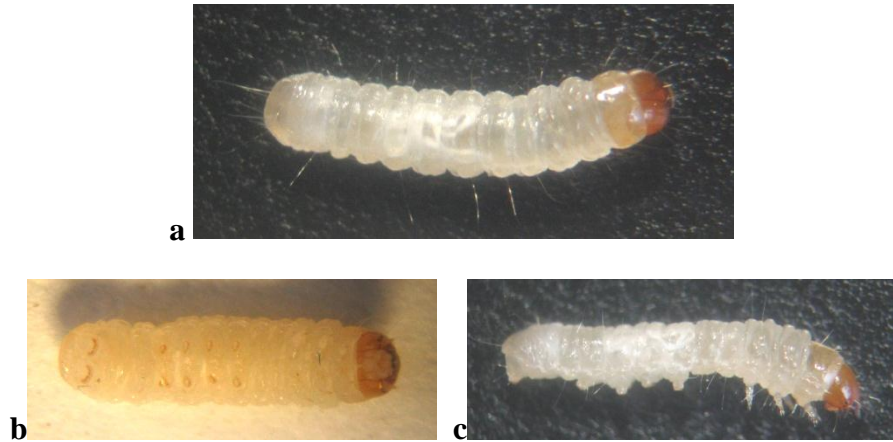


**Fig. 60.** Adultul speciei *Hofmannophila pseudospretella* capturat pe un carton galben adeziv (Moldovan, 2007).



**Fig. 61.** Capul adultului de *Hofmannophila pseudospretella* – aspect ventral (a) și lateral (b) (Moldovan, 2007).

Specia preferă încăperile nelocuite, întunecate și cu umiditate mare. Este întâlnită atât în locuințe cât și în depozitele muzeelor.



**Fig. 62.** Larva speciei *Hofmannophila pseudospretella* – aspect dorsal (a), ventral (b) și lateral (c) (Moldovan, 2007).

Din familia **Tineidae** sunt mai multe specii care atacă țesăturile.

*Tinea pellionella* L. (molia blănurilor) (fig.63)

Larvele sunt deosebit de vorace. Se recunosc ușor după culoarea sa după capsula cefalică brună și puternic chitinizată (fig. 64).



**Fig. 63.** Adult de *Tinea pellionella*: a - dorsal, b – lateral (Moldovan, 2007).

Specia este deosebit de dăunătoare obiectelor confecționate din lână, blănurilor și țesăturilor. Larvele își fac manșoane de protecție cu materiale din substratul nutritiv pe care le leagă prin fibre de mătase. Este o specie care preferă o umiditate mai ridicată și este mai rar întâlnită în mediile încălzite. Poate produce pagube considerabile atunci când nu este ținută sub control.



**Fig. 64.** Larva speciei *Tinea pellionella* (Moldovan, 2007).

***Tineola bisselliella* Hummel. (molia de haine) (fig.65)**

Este o specie comună, deosebit de dăunătoare. Larva se recunoaște cu ușurință după aspectul capului, culoare și după capsula cefalică puternic chitinizată (fig.66).



**Fig. 65.**Adultul speciei *Tineola biselliella* – aspect dorsal (a) și ventral (b) (Moldovan, 2007).



**Fig. 66.** Larva speciei *Tineola biselliella* (Moldovan, 2007).

Larvele sunt foarte vorace și se hrănesc cu hârtie, paie, poliester, vâscoză, dar atacă, în mod preferat lâna, blana, părul, pielea, coarnele, copitele, animale împăiate etc. Larvele își construiesc, la împupare, un cocon din particule luate din substratul nutritiv. Coconii alcătuiți din particule provenite din substratul nutritiv, excremente și fibre de mătase. Larvele provoacă pagube atât prin hrănire cât și prin construirea coconului de împupare.

***Trichophaga tapetzella* L.** (molia de tapiserie) (fig.67)

Este o specie deosebit de dăunătoare. Trăiește la o umiditate relativă destul de ridicată, 80% și este frecvent întâlnită în colecțiile de textile. Atacă și tapiseriile expuse pe perete. Larvele își țes manșoane de protecție cu fire din suportul nutritiv.

Pentru împupare larvele își construiesc un cocon din substratul nutritiv și se fixează pe tavane, în poziție verticală.



**Fig. 67.** *Trichophaga tapetzella* (www2.nrm.se).



## Biodeteriorarea lemnului

Lemnul reprezintă un adevărat miracol pentru civilizația umană. Este una dintre cele mai mari bogății ale planetei Terra. Locuințele, mobilierul și focul sunt darurile pe care lemnul le-a oferit omului. Fiind modelat cu ușurință a fost folosit la crearea primelor totemuri și a primelor opere de artă. Până și mântuirea omului a fost înlesnită de lemnul crucii răstignirii lui Hristos.

Lemnul este generat de plante. Acesta reprezintă așa-numiții, producători care au generat viața pe pământ prin folosirea luminii Soarelui. Producătorii stau la baza vieții și a civilizației umane.

### Structura peretelui celular

Spre deosebire de celula animală, cea vegetală este protejată de un perete rigid, de natură celulozică, de unde și denumirea de dermatoplasm.

În structura peretelui celular se găsesc, în mod obișnuit, trei structuri speciale (fig.68):

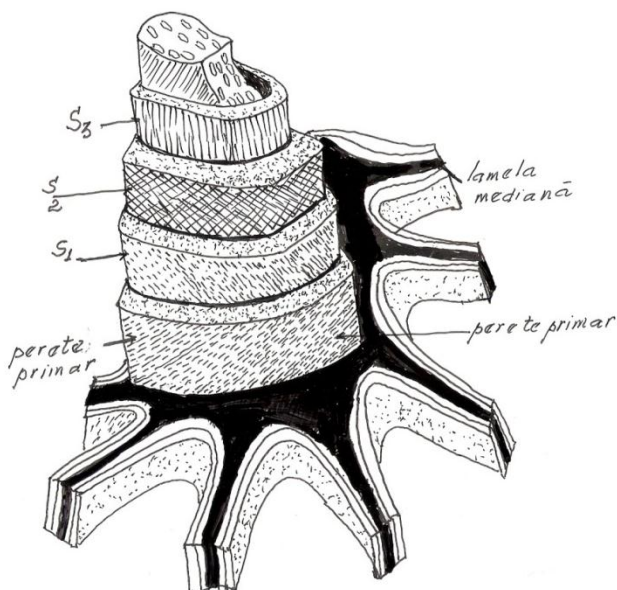
- **lamela mijlocie**, comună pentru celulele învecinate;
- **carcasa individuală** subțire pentru fiecare celulă, ce reprezintă **peretele primar**, care este plastic și extensibil;
- **peretele secundar** format din pături succesive cu orientare diferită a microfibrilelor de celuloză de la un strat la altul.

Peretele celular poate fi format din celuloză, hemiceluloză, polipeptide și alte substanțe organice, precum: manan, glucan, xilan, chitină și alți compuși necelulozici.

Peretele celular începe să se formeze la sfârșitul telofazei când are loc individualizarea celulelor fiice. În acest timp fusul de diviziune se contractă la capete și se dilată în zona ecuatorială atingând pereții

celulei mamă (Toma et al. 1975).<sup>51</sup> Pe acest suport se formează placa celulară; care desparte protoplastul celulei mame în două părți. Această membrană primitivă devine lamela mijlocie. Peste această lamelă protoplaștii celor două celule fiice depun straturi succesive de celuloză care vor forma membrana primară.

Această membrană este destul de flexibilă permițând creșterea celulei în volum și suprafață. După încetarea creșterii celulare începe formarea peretelui secundar. Atât lamela mediană cât și cele două membrane: primară și secundară sunt formate din mai multe structuri cu orientare diferită a microfibrilelor.

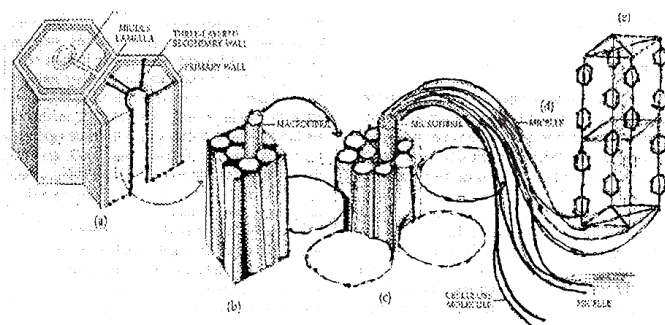


**Fig. 68.** Structura peretelui celulei vegetale (după Caneva)

În figura 69 putem detalia structura peretelui celular secundar până la felurile de celuloză.

<sup>51</sup> Toma C., Butnaru R., Rozmarin Gh., 1975, *Studiul chimiei lemnului și ameliorarea proprietăților lui*, vol. I, Institutul Politehnic Iași.





**Fig. 69.** Detalii de structură ale peretelui celular (după Zarnea, 1994)

Cercetările efectuate la microscopul optic și cel electronic au elucidat perfect structura peretelui secundar al celulelor. Pereții secundari sunt formați din trei structuri bine delimitate prin orientarea microfibrilelor de celuloză. Diferențiem astfel structurile:  $S_1$ ,  $S_2$  și  $S_3$  (fig. 68).

S-a constatat că în peretele celular al celulelor izodiametrice (scleride) sunt circa 100 de pături succesive de fibre celulozice. La traheide și la fibrele de sclerenchim  $S_1$  are o grosime considerabilă, cuprinsă între 0,12-0,35  $\mu\text{m}$ ; ceea ce reprezintă până la 10% din grosimea peretelui.

În mod obișnuit  $S_1$  este format din 4-6 lamele cu creștere diferită.  $S_2$  care are grosimea cea mai mare, poate avea între 30-150 de lamele, ceea ce reprezintă între 74-84% din grosimea peretelui secundar. Stratul  $S_3$  are mai puține lamele, iar uneori poate lipsi. Între cele trei straturi se găsesc pături de fibrile de tip intermediar

În funcție de grosimea și de orientarea microfibrilelor în cele trei straturi putem diferenția trei tipuri de lemn: normal, de compresie și tensionat (Toma et al. 1975).

În lemnul normal cele trei straturi sunt bine conturate:  $S_1$  are spirala microfibrilelor cu o pantă pronunțată în raport cu axa longitudinală a celulei;  $S_2$  este spiralat, de asemenea, dar cu o pantă mai mică;  $S_3$  are panta cea mai mare.

**Lemnul de compresie** are  $S_1$  îngroșat,  $S_2$  cu o serie de discontinuități dispuse radial, iar  $S_3$  lipsește.

**Lemnul tensionat** se găsește în strat conjunctiv sau gelatinos (G) care poate coexista cu celelalte trei straturi sau se poate substitui fie stratului  $S_3$ , fie straturilor  $S_2+S_3$ .

## Compoziția chimică a lemnului

Plantele sunt producătorii care asigură viața pe Terra. Ele transformă substanțele anorganice în substanțe organice, pe care le depozitează în celulele lor. Pereții celulelor vegetale au la bază trei categorii mari de substanțe chimice: polizaharide, lignină și substanțe accesorii.

Se consideră că, în genere, pereții celulelor vegetale sunt celulozici; că celuloza este polizaharidul de bază din structura peretelui celular .

Jones (1969), citat de Zarnea (1994) precizează că țesuturile lemnoase ale plantelor conțin: 50% celuloză, 20% hemiceluloză, 25% lignină și 5% substanțe accesorii. Realitatea ne demonstrează însă că aceste proporții sunt extrem de variabile în funcție de fiecare specie de plante. Astfel, lemnul esențelor moi conține mai multă lignină decât celuloză, în timp ce lemnul esențelor tari mai multă celuloză decât lignină; hemiceluloza se găsește cam în aceeași proporție.

În ceea ce privește polizaharidele trebuie să precizăm că acestea au un rol structural foarte important. În afară de celuloză și de hemiceluloză pereții celulari conțin, pe lângă lignină și cantități variabile de substanțe pectice cu rol de liant: manani, glucani, galactani, xilani etc.

Celuloza este cea mai răspândită substanță organică din natură. Se apreciază că celuloza disponibilă în natură ar depăși 300 miliarde de  $m^3$ . Dacă spunem că anual se produce până la 10-15 miliarde t de celuloză, putem să ne dăm seama de ce materie dispune omenirea pentru asigurarea confortului său în viață. Astfel de aprecieri au fost făcute în

funcție de lemnul pe care ni-l oferă natura și care poate fi prelucrat putând fi făcute și obiecte de patrimoniu. Dacă mai punem la aceste date și celuloza care formează resturile vegetale din agricultură și silvicultură atunci cifrele devin de-a dreptul astronomice.

Lemnul este folosit ca materiale de construcții, în industria de mobilă, în producerea de hârtie, ca material de combustie în încălzirea locuințelor etc. Putem afirma că o mare parte din lemnul existent pe Terra este descompus de către microorganisme și consumat de unele animale xilofage. Ceea ce reprezintă un adevărat paradox este faptul că animalele xilofage nu pot digera celuloza deoarece nu secretă enzime celulozolitice. Totuși, consumul de lemn este posibil ca urmare a fenomenului de simbioză pe care animalele îl realizează cu diferite bacterii, ciuperci și protozoare, care sunt capabile să secrete enzime celulozolitice.

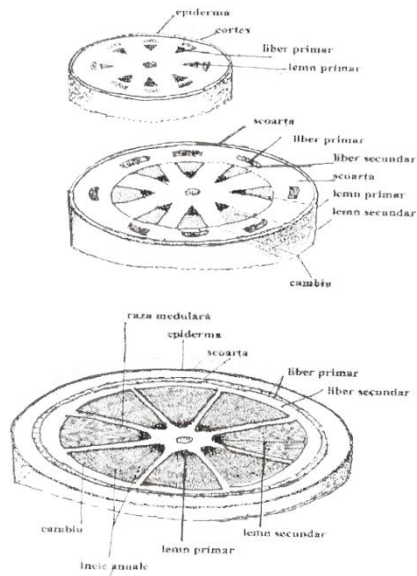
## Structura primară a tulpinii

Făcând o structură transversală printr-o tulpină primară deosebim trei zone anatomice distincte: epiderma, scoarța și cilindrul central.

**Epiderma** este totdeauna unistratificată, cu celulele strâns legate între ele și cu peretele extern mai îngroșat.

**Scoarța** este subțire în raport cu cilindrul central, stratificată, celulele având pereți celulozici subțiri.

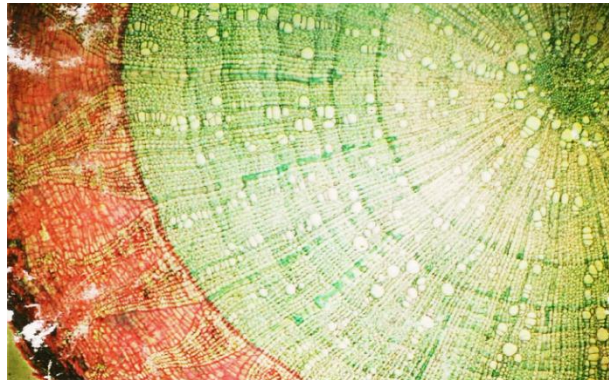
**Cilindrul central** este cel mai dezvoltat. La exterior se găsește un periciclu, iar în interior fasciculele libero-lemnoase care au liberul la exterior și lemnul spre interior (fig.70), iar în centru se găsește măduva.



**Fig. 70.** Structura primară și secundară a tulpinii (după C. Toma)

### Structura secundară a tulpinii

La plantele perene tulpina secundară se formează pe seama a două meristeme secundare care generează permanent noi straturi celulare: felogenul și cambiul (fig.71).



**Fig. 71.** Secțiune transversală printr-o ramură de *Tilia* sp. (după C. Toma)

**Felogenul** sau zona subero-filodermică generează scoarța. Funcționează bifacial dând naștere la **suber** spre exterior și **feloderm** spre interior. Acestea formează scoarța sau peridermul.

Felogenul are o perioadă mai mică de funcționare. La unele plante din zona temperată se formează mai profund un nou felogen, care generează un nou periderm. Peridermul de la suprafață crapă, dând posibilitatea tulpinii să crească în grosime. O succesiune de periderme formează **ritidomul**.

**Cambiul** se formează în cilindrul central. Cambiul generează liber la exterior și lemn la interior.

Poate exista și un cambiu intrafascicular, care produce razele medulare secundare.

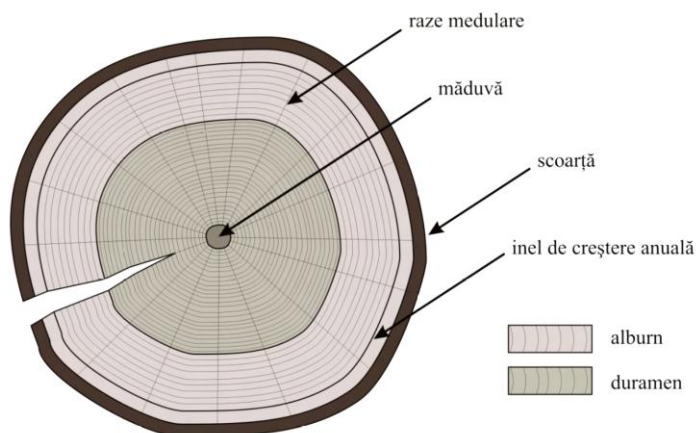
Liberul secundar formează un inel continuu, indiferent de vârsta arborelui. Acesta poate fi străbătut de un parenchim de dilatare sub formă de raze medulare largi.

Lemnul secundar se formează la interiorul cambiului. În zona temperată apare sub formă de inele anuale concentrice. Succesiunea și diferențierea netă a inelelor de creștere se datorează faptului că țesutul cambial formează primăvara vase lemnoase cu un lumen mai mare, față de cele din timpul verii; toamna și iarna încetează generarea de noi vase lemnoase. În timpul verii, și mai ales spre toamnă cambiul formează vase lemnoase cu lumenul mai mic și cu pereții mai groși. În structura lemnului secundar diferențiem raze medulare.

În mod obișnuit lemnul se diferențiază în două zone: **duramen** și **alburn** (fig.72).

În unele cazuri se pot forma două inele într-un an; fie din cauza defolierii totale a arborelui provocată de insecte, fie din cauza unei perioade de secetă prelungită, urmată de perioadă ploioasă.

Lățimea inelului anual variază în funcție de vârsta arborelui și de condițiile climatice ale fiecărui an.



**Fig. 72.** Reprezentare schematică a unei secțiuni transversale printr-un trunchi de foios (după B. Ungurean, 2011)

Lățimea inelelor se exprimă fie prin numărul lor pe un cm de rază a secțiunii normale, fie în milimetri. Uniformitatea lățimii inelelor se calculează după relația (Toma et al. 1975):

$$x = \frac{b_{\max} - b_{\min}}{b_m} \cdot 100$$

$b_{\max}$  – lățimea maximă a unui inel;

$b_{\min}$  – lățimea minimă a celui mai îngust inel;

$b_m$  – lățimea medie.

Dacă lemnul de plop are numai inele late, tisa are numai inele înguste.

Arborii care provin din drajoni sau din lăstari au inelele din jurul măduvei mai late, deoarece la început are o mai bună aprovizionare cu apă.

Arborii care trăiesc în munți, unde perioada de vegetație este mai scurtă, au inelele foarte înguste.

În structura unui inel anual deosebim două zone:

- lemnul de primăvară, format din vase lemnoase cu lumenul mare și pereții înguști;

- lemnul de vară și de toamnă, cu vase lemnoase cu lumen mic și cu pereți îngroșați;

Lemnul cu inelele bine diferențiate se numește lemn **vărgat**, așa cum întâlnim la conifere, stejar, frasin, fag, iar lemnul cu inelele mai mult sau mai puțin asemănătoare se întâlnește la unele esențe de lemn moale, ca la plopi și tei.

La unele esențe lemnoase lemnul trunchiului are aceeași culoare în secțiune; tei, mesteacăn, plop, paltin.

La cele mai multe specii de arbori deosebim două zone care se diferențiază atât prin culoare cât și prin capacitatea fiziologică.

Zona internă, care nu mai este fiziologic activă, având celulele pline cu diverse substanțe, iar pereții impregnați cu substanțe care dau rezistență; această zonă este mai închisă la culoare formând **duramenul**.

În zona externă se găsește lemnul activ fiziologic, cu rol conducător, care formează **alburnul**. După tăiere duramenul se închide la culoare și se delimitează net de alburn. Între speciile cu duramen menționăm: pinul, tisa, larița, ienupărul, nucul, salcâmul, stejarul, ulmul, cireșul etc.

Unele specii deși nu au duramen realizează un **duramen fals**, de natură patologică, așa cum este inima roșie a fagului.

Duramenul are calități și proprietăți mecanice superioare alburnului, fiind mai impermeabil pentru lichide. Esențele lemnoase cu duramen se mai numesc și esențe colorate, ce au o anumită valoare în industria mobilei și în sculptură.

În structura lemnului se pot pune în evidență și razele medulare care au o culoare diferită de restul lemnului. Deosebim raze medulare principale și secundare: în secțiune longitudinală razele medulare apar sub forma unor benzi de lățimi diferite, de 0,2 – 0,6 mm, dispuse transversal față de inelele anuale; razele medulare se mai numesc **oglinzi**. Oglinzile dau un aspect decorativ lemnului, având rol important în confecționarea unor obiecte.

Lemnul are în secțiune o structură poroasă. Porii se pot vedea cu ochiul liber și au contur circular, oval sau poligonal. Pot fi puși în evidență mai ales în lemnul timpuriu deoarece are vase lemnoase mai mari. La stejar, frasin și ulm porii pot contura un inel; la alte specii pot forma benzi sau linii continui. Mărimea și densitatea porilor prezintă importanță în diferențierea esențelor lemnoase.

Parenchimul lemnos având o anumită culoare dă lemnului o caracteristică proprie fiecărei specii în parte.

Textura lemnului este dată de dimensiunile, forma și gruparea elementelor structurale. Deosebim trei tipuri de texturi: fină, mijlocie și grosieră. Dacă lemnul de tei și de ienupăr are o textură fină, cel de stejar și de castan o textură grosieră. Textura este dată de succesiunea și lățimea inelelor de creștere și de diferența dintre lemnul de primăvară și de cel de vară-toamnă.

În secțiune longitudinală desenul pe care îl oferă lemnul poate fi foarte variat, în funcție de nivelul la care se realizează secțiunea și de dimensiunile inelelor ale acestora. Desenele caracteristice dau o valoare cu totul particulară lemnului prelucrat. Desene frumoase și interesante apar în zona nodurilor date de unele ramuri sau de muguri dorminzi.

Culoarea lemnului este proprie fiecărei specii: poate varia de la alb până la negru (mugur de abanos). După doborâre, lemnul proaspăt este alb gălbui la arin, însă devine roșcat după uscare. Lemnul expus razelor solare capătă o culoare mai închisă.

Lemnul poate avea culori diferite:

- **alb** la plop, frasin, fag, carpen, molid, paltin;
- **alb-gălbui** la brad, mesteacăn, tei, stejar;
- **roșcat** la pâr, cireș, arin, măr, salcâm, lariță, pin, tisă;
- **brun** la nuc, prun și ulm.

Lemnul atacat de unele ciuperci își schimbă culoarea, devenind roșcat sau albastru.

Culoarea se poate modifica prin unele prelucrări hidrotermice; brun-roșcată la fag, brună la nuc.



Luciul lemnului este dat de structură și de substanțele impregnate. Luciul se capătă prin netezirea lemnului și depinde de incidența razelor solare. Paltinul și platanul capătă un luciul mătășos.

Mirosul lemnului este caracteristic pentru fiecare specie în parte; duramenul are un miros mai puternic decât alburnul.

- mirosul de rășină este caracteristic coniferelor;
- mirosul de santal este propriu doar acestei specii.

### **Anomalii și defecte ale lemnului**

Acestea pot fi determinate de abateri de la creșterea normală.

Anomaliile de creștere reprezintă abateri de la normal datorată unor condiții cu totul speciale apărute în existența arborelui. Acestea pot determina unele defecte de structură, însă tocmai acestea pentru un mare specialist, pentru un artist pot avea o valoare cu totul specială.

Nodurile sunt elemente structurale speciale localizate în masa lemnului. Ele se găsesc la originea ramurilor. Nodurile oferă în secțiune desene cu totul particulare, care pot fi valorificate din punct de vedere estetic.

Strâmbarea unor tulpini în timpul creșterii determinată de acțiunea vântului, a zăpezii sau a altor factori poate provoca apariția unor desene cu totul ieșite din comun în structura lemnului care pot fi valorificate cu succes de un artist.

Speciile lemnoase se împart în două categorii mari: foioase și rășinoase.

Foioasele se împart, la rândul lor în: esențe tari (stejar, fag, frasin) și esențe moi (tei, mesteacăn, arin, plop).

## Biodeteriorarea lemnului de către ciuperci

Prin bogăția sa în polizaharide lemnul devine ținta atacului agenților biodeterioratori din diferite grupe de organisme: bacterii, fungi, insecte etc.

Atacul ciupercilor este cel mai periculos; este atacat atât lemnul sănătos cât și cel bolnav (atacat de alte organisme), lemnul proaspăt tăiat și cel vechi.

Mucegaiurile pot fi ușor recunoscute după petele pe care le formează pe suprafața lemnului; acestea sunt diferit colorate, în funcție de specie, iar atunci când se formează sporii, acestea sunt pulverulente. Petele pe care unele specii de mucegaiuri le formează la nivelul alburnului pot avea culori diferite, de la albastru până la negru-gri. Acestea pot fi evidențiate atât în secțiunile transversale, cât și în cele longitudinale practicate în trunchiuri.

Totuși, mucegaiurile nu provoacă slăbiri importante ale lemnului.

Ciupercile care produc „mucegăirea” lemnului se instalează la suprafață și provoacă apariția unor pete de culoare „**pete penetrante**” datorită colorării pereților celulari de către miceliul colorat. Virarea culorii lemnului este variată, în funcție de speciile agresoare:

- **colorări galbene**, produse de *Aspergillus ochraceus* și *Verticillium glaucum*;
- **culori galbene-cenușii sau galbene-castanii** produse de *Epicomum granulatum*, *Paecilomyces variotii*, *Penicillium roseum*, *Trichothecium roseum*;
- **culori roșii** produse de *Acrastabagmus cranabarinus*, *Penicillium purpurogenum*, *Verticillium latericum*;
- **culori roz-portocalii sau portocalii-cenușii** produse de *Monilia sitophilla* și *Fusarium solani*;
- **culori verzi** produse de *Aspergillus glaucus*, *Gliocladium deliquescens*, *Penicillium divergens*, *Trichoderma koningii*;

- **culori verzi-cenușii, verzi fumurii sau oliv-cenușii** produse de *Aspergillus fumigatus*, *Gliocladium viride*, *Penicillium comune*;
- **culori cenușiu-verzui** produse de *Aspergillus flavus*, și *Trichoderma lignorum*;
- **culori cenușiu-verzui cu nuanțe brune sau oliv-negrice** produse de *Alternaria humicola* și *Cladosporium herbarum*;
- **culori cenușiu-deschis sau cenușiu-brune** produse de *Penicillium biforme*, *Torula ligniperda*, *Trichosporium tingens*;
- **culori negre** produse de *Bispora monillioides*.

**Culori albăstrui** produse la nivelul alburnului de stejar și de gorun de specia *Fusarium solani*. Această ciupercă este răspândită de insecta *Agilus angustulus* care o însămânțează pentru a produce degradarea celulozei pe care apoi o poate consuma.

Este cunoscut acum faptul că atacul ciupercilor realizează o anumită degradare biologică a celulozei, astfel încât, în urma atacului ciupercii aceasta poate fi metabolizată. Lemnul atacat de ciuperci este preferat de foarte multe insecte xilofage.

Albăstreala lemnului de rășinoase este produsă și de speciile *Ophiostoma pilifera*, *O. pini*, *O. canum*, *O. piceae*, *O. coeruleum* etc. Sporii prinși pe lemnul proaspăt tăiat sau proaspăt rănit germinează și își răspândesc miceliile în țesuturile alburnului. Hifele pătrund în celule prin punctuații și se hrănesc cu conținutul celular, atacul determinând moartea arborilor. Sporii de *Ophiostoma* sunt răspândiți de gândacii din familia *Ipidae* (*Scolytidae*).

Inima roșie și sufocarea lemnului de fag sunt determinate de diferite specii de fungi: *Ustulina deusta*, *Schizophyllum commune*, *Diatrype disciformis*, *Fomes fomentarius*, *Ganoderma applanatum*, *Stereum hirsutum*, *Coriolus hirsutum* etc.

Aceste ciuperci își răspândesc hifele în inima lemnului de fag producând o degradare a acestuia și făcându-l accesibil multor specii de insecte xilofage. După faza de culoare a lemnului, care este o fază incipientă are loc **sufocarea** sau **încingerea** lemnului, ceea ce se soldează cu putrezirea acestuia.

Putem preciza că atacul ciupercilor asupra lemnului realizează o pregătire a acestuia pentru atacul insectelor xilofage. Ca urmare a acțiunii enzimelor celulozolitice a ciupercilor are loc o biodegradare a celulozei, făcând-o accesibilă insectelor care continuă să o degradeze cu aportul speciilor celulozolitice cu care trăiesc în simbioză.

Fiind vorba de simbioza dintre insecte și unele specii de organisme celulozolitice trebuie să atragem atenția asupra faptului că unele insecte trăiesc în simbioză cu unele specii de organisme celulozolitice.

Încă din 1836 Schmidberger a atras atenția specialiștilor asupra așa-numitei **ambrozii**, care rezultă din simbioza unor insecte cu anumite specii de ciuperci. De fapt este vorba de capacitatea unor insecte xilofage de a „**cultiva**” ciuperci în galeriile pe care le fac în lemn.

Ciupercile tapisează cu miceliul lor galeriile făcute de insecte. Miceliile determină biodegradarea celulozei, hemicelulozei și a ligninei din lemn făcându-l accesibil insectelor. Acestea se hrănesc atât cu miceliul **ciupercilor de ambrozie** cât și cu lemnul degradat. Miceliile consumate reprezintă „**tributul**” plătit de ciuperci pentru cultivarea lor în interiorul lemnului. Cantitatea de micelii consumată este destul de mică, ceea ce favorizează întreținerea fenomenului de simbioză. Între fungii de **ambrozie** menționăm următoarele genuri: *Ceratocystis*, *Cladosporium*, *Penicillium*, *Botrydiploia*, *Endomyces*, *Endomycopsis*, *Monilia*, *Candida* și *Ambrosiella*.

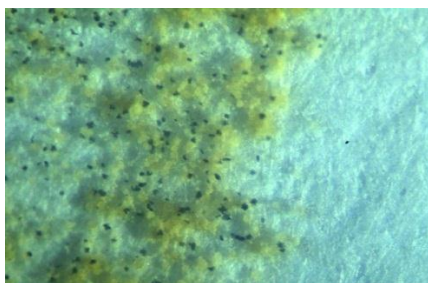
Ciupercile sunt cultivate de aceste specii de insecte; ele mai poartă numele de gândaci de ambrozie. Dintre speciile mai cunoscute sunt cele care aparțin: termitelor din genurile *Odontotermes*, *Macrotermes*, *Microtermes*, furnicilor xilofage din genurile:

*Cyphomyrmex*, *Trachomyrmex*, *Atta*. Alături de acestea sunt și numeroase specii de *Scolytidae* și *Platypodidae* dintre Coleoptere.

Prezentăm, în cele ce urmează unele dintre cele mai comune specii de mucegaiuri pe care Aynes H.S. Onions le citează în lucrările sale ca atacând substraturile bogate în celuloză, între care și lemnul care are o umiditate mai mare:

1. *Aspergillus amstelodami* Thom și Church (fig.73)

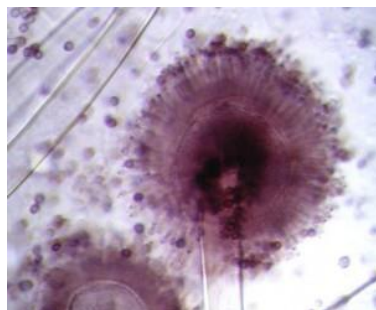
Specie comună și deosebit de periculoasă. Poate acționa ca un colonizator primar pregătind terenul pentru instalarea altor specii. Poate să atace și suporturile materiale cu o umiditate mai redusă.



**Fig. 73.** *Aspergillus amstelodami* (mycota-crcc.mnhn.fr)

2. *Aspergillus niger* Thom (fig.74)

Se întâlnește la tot pasul pe substanțele organice în descompunere. Coloniile au aspect pulverulent onctuos, galben-marونیu sau marونیu.

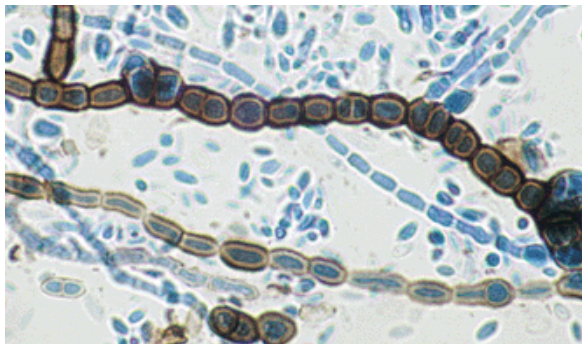


**Fig. 74.** *Aspergillus niger*

(<http://top-10-list.org/2009/10/11/ten-types-importan-fungus/aspergillus-niger/>)

3. *Aureobasidium pullulans* (de Bary) Arnaud (fig.75)

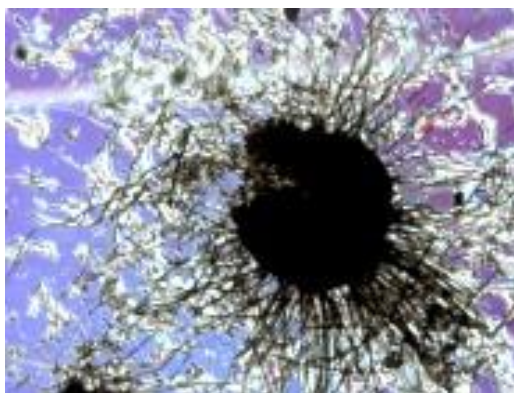
Este o specie comună de mucegai de alterare, care atacă materialele celulozici umede, preferă ca și celelalte specii de mucegai locurile lipsite de lumină, sau cu lumină slabă. Coloniile au un aspect alb cremos cu o textură spongioasă.



**Fig. 75.** *Aureobasidium pullulans* (www.mycology.adelaide.edu.au)

4. *Chaetomium globosum* Kunze ex Fries (fig.76)

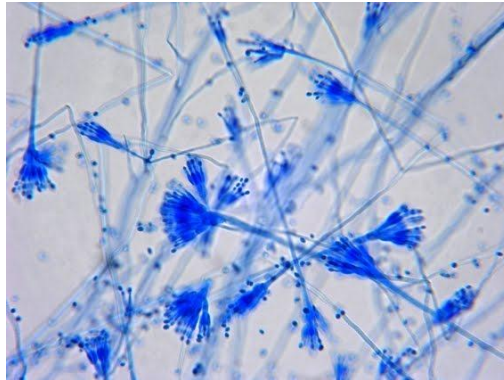
Este o specie foarte comună, care atacă materialele celulozice. Coloniile au o culoare verzuie.



**Fig. 76.** *Chaetomium globosum* (www.schimmel-schimmelpilze.de)

5. *Paecilomyces variotii* Bainer (fig.77)

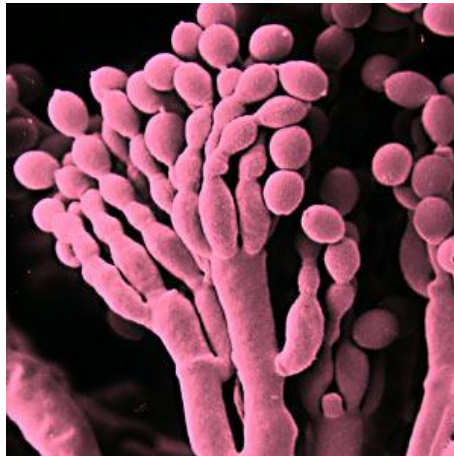
Este un mucegai de alterare comun. Coloniile au o culoare maro-gălbui sau maro-deschis, cu aspect de catifea și sunt foarte pulverulente.



**Fig. 77.** *Paecilomyces variotii* (thunderhouse4-yuri.blogspot.com)

6. *Penicillium brevicompactum* Dierckx (fig.78)

Este frecvent întâlnit pe suprafețe bogate în celuloză și se recunoaște după culoarea gri-verzui, onctuoasă, cu o margine albă deosebit de îngustă.



**Fig. 78.** *Penicillium brevicompactum* (<http://www.special-clean.com/>)

7. *Penicillium cyclopium* Westling (fig.79)

Este o specie de alterare comună, care se găsește pe toate suporturile celulozice în stare de degradare. Coloniile au colorit albastru-verzui, cu marginile albe.



**Fig. 79.** *Penicillium cyclopium* (bvi.rusf.ru)

8. *Penicillium funiculosum* Thom (fig.80)

Deși este un mucegai care crește pe sol, atacă și materialele celulozice și chiar materialele plastice. Coloniile se împrăștie neregulat și are culori variate: verzi spre gri, roze, cu excrescențe pufoase.



**Fig. 80.** *Penicillium funiculosum* (<http://www.mblabnehu.info/>)

9. *Penicillium ochrochloron* Bionrge Este o specie mai rară, dar foarte periculoasă. Coloniile sunt pufoase, verzui-gri.

10. *Scopulariopsis brevicaulis* (Saccardo) Hyghes (fig.81)

Este o specie comună, ce atacă multe categorii de structuri organice. Coloniile sunt pulverulente, onctuoase, brune sau brun-gălbui.





**Fig. 81.** *Scopulariopsis brevicaulis* (<http://www.mold.ph/>)

11. *Stachybotrys atra* Corda (fig.82)

Atacă materialele celulozice. Coloniile sunt negricioase, cu aspect apos.



**Fig. 82.** *Stachybotrys atra* (moldetect.com)

Putregaiurile provocate de fungi sunt deosebit de periculoase nu atât prin modificările de culoare ale lemnului, cât prin distrugerea structurii. Putregaiul este de mai multe feluri:

### **Putregaiul alb**

Putregaiurile albe atacă atât celuloza cât și lignina astfel încât rezistența lemnului este total distrusă, acesta devenind sfărâmicos și

pulverulent. Putregaiul se transformă în pulbere chiar și la presiuni nu prea mari.

La început culoarea lemnului atacat este negricioasă însă, fiind acoperit în totalitate de hifele ciupercilor capătă culoarea albă.

Putregaiurile albe sunt produse de mai multe specii între care menționăm:

*Donkioporia expansa* care apare adesea la capătul bânelor mari de stejar din construcții. *Donkioporia expansa* atacă lemnul de esență tare; a fost identificată în unele săli de sport în lemnul dușumelelor (fig.83).



**Fig. 83.** *Donkioporia expansa* (<http://www.iscapreservation.co.uk/>)

*Phellinus contiguus* atacă mai ales tâmplăria exterioară din construcții (fig.84).



**Fig. 84.** *Phellinus contiguus* ([www.aphotofungi.com](http://www.aphotofungi.com))

*Pleurotus ostreatus* atacă scândurile și așchiile de lemn care rămân, împrăștiate în diferite locuri (fig.85).



**Fig. 85.** *Pleurotus ostreatus* (commons.wikimedia.org)

Aspectul lemnului atacat devine fibros și pulverulent; uneori în structura lemnului apar unele benzi albe, iar adesea apar unele scobituri lenticulare pline cu resturi de lemn nedescompuse de culoare albă, fiind acoperit de micelii.

Astfel de ciuperci provoacă găuri în peretele celular; acestea se largesc odată cu creșterea hifelor, apoi ajung să se contopească și să distrugă peretele celular în întregime.

Lignina din pereții celulari este degradată începând cu lamela externă a peretelui celular. Celulele lemnoase delignificate sunt apoi mai ușor atacate. Celuloza este atacată în ultima etapă a procesului de biodegradare a lemnului.

Culoarea albă este dată atât de conținutul de celuloză al peretelui degradat cât și de unele enzime de ciuperci și de hife. Fiind atacată în primul rând lamela mediană dintre celule hifele își deschid cu ușurință calea de pătrundere în cât mai multe celule.

Putregaiul alb are un pH mic și o mare higroscopicitate.

**Putregaiul brun** atacă atât celuloza cât și carbohidrații asociați, lăsând neschimbată lignina. Atacul provoacă degradarea lemnului, acesta prezintă crăpături longitudinale și transversale astfel încât lemnul

capătă aspectul brun al unor cărămizi suprapuse. La un atac puternic lemnul se sfărâmă cu ușurință între degete. Putregaiul brun mai este numit și **putregai prismatic** sau **putregai distructiv**. Deoarece consumă atât celuloza cât și hemoceluloza, rămâne nedegradată lignina, care asigură o oarecare coeziune a lemnului degradat.

Dintre speciile mai importante care provoacă putregaiul brun menționăm:

*Coniophora puteana* - aceasta are corpul de fructificare măsliniu și cu umflături. Corpul fructifer este subțire, întins pe lemn, putând ajunge până la dimensiuni mari. Are aspect păslos, de culoare galben-aurie la început, apoi verzuie spre galben-brum și chiar negru. Determină o putrezire roșie, umedă deoarece preferă lemnul cu umiditate ridicată (fig.86).



**Fig.86.** *Coniophora puteana* (www.impregnirane.com)

Atacă toate speciile lemnoase, mai puțin stejarul. La începutul atacului lemnul devine galben-brun, apoi brun-închis, până la negricios. Sintetizând și eliminând acid oxalic mărește mult aciditatea lemnului, care poate ajunge până la 2,5. Preferă umezeală mare; se găsește în beciuri și subsoluri.

*Coniophora marmorata* are corpul de fructificare neted, de culoare roz-maronie. Este întâlnită în dușumele și în pivnițe, unde este umiditate mare (fig.87).



**Fig. 87.** *Coniophora marmorata* ([www.discoverlife.org](http://www.discoverlife.org))

*Fibroporia vaillantii* cu un corp de fructificație prevăzut cu mult păr de culoare albă sau galbenă, spre crem. Atacă tâmplăria exterioară (fig.88).



**Fig. 88.** *Fibroporia vaillantii* ([www.iscapreservation.co.uk](http://www.iscapreservation.co.uk))

*Lentinus lepideus* cu un corp de fructificație sub forma de pălărie, de culoare galbenă-brună, și cu solzi închiși la culoare, roșii-purpurii. Preferă lemnul de rășinoase din construcții. Atacă de regulă duramenul și zonele din inima lemnului provocând o putrezire inelară sau tubulară (fig.89).



**Fig. 89.** *Lentinus lepideus* (www.flickr.com)

*Paxillus panuoides* are un corp de fructificație sub forma de clopoțel, evantai sau scoică. Atacă lemnul cu umiditate ridicată, de peste 50-70%. Descompune celuloza fără fenoloxidază. Ciuperca sintetizează și elimină acizi, ceea ce provoacă reducerea pH-ului până la 2,6. Degradează lemnul producând la început un putregai alb, cu dungi galbene, care devin apoi galben-brum. Atacă mai ales lemnul de rășinoase din clădiri, gospodării, pivnițe (fig.90).



**Fig. 90.** *Paxillus panuoides* (www.ipet.gr)



*Dacrymyces palmatus* atacă lemnul de molid. Corpul de fructificație este globulos la început, apoi lățit, ondulat. Atacă rășinoasele, în special molidul. Îl întâlnim în tâmplăria exterioară (fig.91).



**Fig. 91.** *Dacrymyces palmatus* (www.mykoweb.com)

#### **Putregaiul cubic provocat de *Serpula lacrymans***

*Serpula (Merulius) lacrymans* este cea mai periculoasă și răspândită ciupercă, dăunătoare lemnului. Este cea mai distrugătoare ciupercă a lemnului din construcții. Este o ciupercă iubitoare de umiditate. Miceliul său, foarte viguros, poate străbate medii diverse, chiar fără de lemn. În clădiri atacul este inițiat în pivnițe sau subsoluri și se ridică prin pereții clădirilor până la acoperiș.

Corpul fructifer este cornos, moale, cu o structură buretoasă, care se desprinde cu ușurință de substrat. Are o grosime de doar 1-2 cm, însă se poate întinde pe suprafețe mari, peste 1m<sup>2</sup>. Culoarea este galben-brună (fig.92).

Miceliul la suprafață este de culoare albă și are aspect de vată. La o umiditate scăzută culoarea devine cenușiu-argintie. Miceliul este foarte viguros. Formează o rețea de cordoane groase, numite **rizoderme**, de culoare cenușie –murdară. Rizodermele fiind viguroase

penetreează lemnul și chiar porțiuni din ziduri ocupând suprafețe din ce în ce mai mari.



**Fig. 92.** *Serpula lacrymans* (www.biolib.cz)

Hifele sunt incolore, subțiri, cu pereți prevăzuți cu numeroase perforații.

Cordoanele pe care le formează ciuperca sunt formate din trei tipuri de elemente:

- hife tubulare, sub formă de vase;
- hife sub formă de fibre;
- hife bazale, sau de structură, care sunt deosebit de rezistente.

*Serpula lacrymans* descompune celuloza, nu și lignina. Atacă atât lemnul compact cât și rumegușul și fibrele lemnoase. Atacă și hârtia, covoarele, țesături și blănuri. Rizodermul trece cu ușurință prin substruri formate din astfel de substanțe. Nu atacă pielea, însă pot trece, așa cum am mai afirmat, prin ziduri care nu conțin substanțe organice. Să nu ne mire că astfel de rizoderme au continuitate de la subsolul până la acoperișul unei clădiri. Astfel de rizoderme am descoperit în atacul produs de *Serpula lacrymans* în zidurile de la Castelul Peleş.

Miceliul situat la suprafața lemnului atacat are un aspect alb păslos, acoperins suprafețe mari (fig.93).





**Fig. 93.** Lemn acoperit de miceliul speciei *Serpula lacrymans* (original)

Miceliul este foarte viguros; formează cordoane groase și rezistente, numite **rizoderme** care se strecoară în substrat înaintând pe distanțe foarte mari (fig.94). Strecurându-se în tencuială și în zid determină dislocarea unor porțiuni și căderea lor (fig.95).



**Fig. 94.** Rizoderma de *Serpula lacrymans* (original)



**Fig. 95.** Clivajul straturilor de tencuială provocat de *Serpula lacrymans* (original)

Rizodermele pot perfora zidurile pe distanțe mari fără a avea nevoie de substrat organic. Având capacitatea să producă o cantitate mare de apă aceasta trece în zid și ușurează pătrunderea hifelor. În figura 96 putem observa o porțiune mare din tavanul unei camere de muzeu dislocată de rizodermele puternice ale acestei ciuperci.



**Fig. 96.** O porțiune din tavanul unei camere dislocată ca urmare a atacului speciei *Serpula lacrymans* (original)

Lemnul atacat de *Serpula lacrymans* putrezește. Se formează un putregai brun care se fragmentează căpătând un aspect prismatic (fig.97 și 98).



**Fig. 97.** Putregaiul brun produs de *Serpula lacrymans* (original)

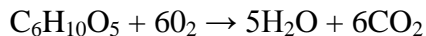


**Fig. 98.** Putregai brun produs în peretele unei case de *Serpula lacrymans* (original)

Capacitatea de creștere a ciupercii este foarte mare. Temperatura optimă de dezvoltare este cuprinsă între 18-20°C; limita inferioară este de 3°C, iar cea superioară de 26°C. Oscilațiile bruște de temperatură pot determina distrugerea miceliului.

*Serpula lacrymans* atacă lemnul începând de la o umiditate mai mare de 26%, optimul umidității fiind de circa 55%.

Ciuperca își poate asigura singură umiditatea optimă, având posibilitatea de a umezi lemnul cu o parte din apa transportată prin hife. Chiar în lipsa apei poate asigura o anumită cantitatea de apă prin procesele de metabolism. Ciuperca este capabilă să producă apa prin descompunerea celulozei în prezența oxigenului:



V.Müller consideră că dintr-un centimetru cub de lemn cu o densitate de 0,5 g/cm<sup>3</sup> ciuperca poate obține o cantitate de 0,39 cm<sup>3</sup> de apă prin descompunerea celulozei.

Aici găsim taina rezistenței acestei ciuperci în diferite medii și a lungii sale existențe. Îți vine greu să accepți că o ciupercă poate avea un tal care să se desfășoare de la subsolul unei clădiri până la acoperiș chiar dacă aceasta are 4-5 etaje sau mai multe. Este vorba de o ciupercă, chiar dacă aceasta prezintă corpi de fructificație multipli.

Atacul speciei *Serpula lacrymans* este deosebit de periculos. Miceliul poate cuprinde întreaga structură lemnoasă a unei clădiri. Degradând lemnul producând putregaiul cubic clădirea se poate dărâma, dacă osatura sa de rezistență este formată din bârne de lemn. Doar termita mai pot provoca distrugerea totală a unei construcții.

Așa putem înțelege că pentru combaterea acestei ciuperci într-o clădire este necesar să îndepărtezi nu numai lemnul atacat ci chiar și unele zone din zidărie. Trebuie să distrugi prin foc orice urmă de ciupercă (hife și spori). Lemnăria folosită în construcții trebuie să fie impregnată în mod obligatoriu cu substanțe antifungice.

## Sucesiunea speciilor în degradarea lemnului

Trunchiurile căzute în codrii seculari în care omul nu intervine pentru igienizare intră în mod natural în circuitul geo-bio-chimic. Acest fapt se întâmplă și cu construcțiile părăsite din lemn și expuse în natură.

Carey (1980), Clubbe (1980), Levy (1975) și alți autori au elucidat astfel de aspecte și au constatat că atacul asupra lemnului se poate desfășura eșalonat de o serie de organisme din diferite grupe taxonomice. Această eșalonare ar putea avea un astfel de algoritm:

- bacterii heterotrofe;
- fungi care produc colorări și decolorări;
- Ascomycete și Fungi imperfecti;
- diverse specii de Basidiomycete;
- mucegaiuri secundare;
- atacul insectelor se poate instala pe oricare dintre aceste paliere.

Lemnul uscat așezat pe sol pare a fi invulnerabil la atacul agenților biodeterioratori. El nu se păstrează însă mult timp în această stare chiar în condiții de secetă prelungită deoarece lemnul începe să absoarbă apa, umiditatea sa crescând treptat; poate absorbi apa din sol, din atmosferă și din picăturile de rouă. Ploile grăbesc creșterea umidității lemnului.

Primele organisme biodeterioatoare ale lemnului sunt, cu siguranță, bacteriile heterotrofe. Acestea acționează asupra membranelor celulare la nivelul punctuațiilor realizând o deschidere a celulelor către mediu, asigurând schimbul de gaze și de acces a apei, precum și a unor microorganisme. Primele efecte nu sunt vizibile, ele produc însă modificări ireversibile care asigură continuarea lanțului de procese biodegradabile.

Produsele metabolice ale bacteriilor heterotrofe devin, la rândul lor o sursă de hrană pentru alte organisme.

Pe terenul pregătit de bacteriile heterotrofe își fac apariția mucegaiurile primare. Acestea nu descompun nici celuloza, nici hemiceluloza și nici lignina; deci nu atacă lemnul celulei vegetale, în schimb folosesc cu eficiență carbohidrații din structura parenchimului de rază al alburnului. Prin acțiunea lor deschid noi porți în profunzimea lemnului. Acțiunea acestora este vizibilă ca urmare a colorărilor sau decolorărilor produse materialului lemnos. Aici putem încadra diferite specii de Ascomycete și de Fungi Imperfecți.

Intră apoi treptat în acțiune unii fungi care produc putregaiuri moi. Acești fungi se instalează la contactul lemnului cu solul. Prin hifele lor acești fungi atacă în special stratul S<sub>2</sub> din pereții lemnoși ai celulelor vegetale. Este pregătit astfel terenul pentru acțiunea decisivă a unor Basidiomycete. Acestea produc cele mai grave deteriorări lemnului deoarece sunt capabile să atace fie celuloza, fie lignina, fie hemicelulozele. Sunt ciupercile care atacă lemnul, care penetrează pereții celulozici ai celulelor.

Basidiomycetele alterează complet pereții celulozici asigurând acțiunea mucegaiurilor secundare. Acestea utilizează o parte din celuloza derivată din descompunerea lemnului dar și o parte din materia în descompunere asigurată de atacul speciilor anterioare.

La contactul cu solul al lemnului printre primele Basidiomycete care se instalează sunt cele de *Stereum hirsutum*, *Hymenochaete rubiginosa* și *Daedalea quercina*. Acestea produc un putregai brun. Lor li se poate asocia *Coriolus versicolor*, care produce un putregai alb.

Pe terenul pregătit de aceste specii se pot instala unele specii de *Hydnaceae* și de *Corticiaceae*.

În fazele mai avansate ale atacului se pot instala Mixomycetae și Licheni.

În această eșalonare a atacului încep să-și facă prezența insectele xilofage. Ele au o mare afinitate pentru lemnul degradat de ciuperci. Atacurile provocate lemnului de *Dacrymyces palmatus*, *Coriolus hirsutus*, *Phellinus pini*, *Lenzites betulina*, *L. lipideus*, *Gloeophyllum*

*abietinum*, *Trametes versicolor* etc. Sunt urmate de atacul insectelor xilofage.

Atacul produs de *Coniophora puteana* și chiar cel de *Serpula lacrymans* atrage prezența speciei *Xestobium rufovillosum*. Am pus în evidență asocierea acestor atacuri în unele monumente din Moldova (Biserica „Frumoasa” din Iași, Biserica „Bogdana” din Rădăuți), iar Loredana Axinte a constatat astfel de atacuri în multe biserici din județul Suceava.

Am pus în evidență atacul speciilor *Anobium punctatum* și *Xestobium rufovillosum* în asociere cu atacul ciupercii *Serpula lacrymans* în mai multe biserici de lemn din Moldova.

## **Biodeteriorarea lemnului în medii acvatice**

Este necesar să precizăm că pe noi nu ne interesează lemnul brut, ci lemnul prelucrat; mai precis cheresteaua. Lemnul prelucrat este folosit în diferite scopuri: construcții, mobilier, obiecte de uz casnic, obiecte de artă etc. Biodeteriorarea cherestelei este o problemă economică foarte importantă deoarece, așa cum precizează Organizația pentru Cooperare și Dezvoltare Economică (O.E.C.D) pentru înlocuirea cherestelei putrezite se cheltuiesc anual peste 50 milioane \$ pe an numai în SUA.

Interesant este faptul că, nu numai cheresteaua de pe uscat este atacată de agenți biodeterioratori, ci și cea din apă. În apă acționează diferite specii de bacterii, funghi, crustacee și moluște. Dintre crustacee menționăm diferite specii de *Limnaria*, *Sphaeroma* și *Chillura*, iar dintre moluște specii din familii de bivalve *Teredinidae* și *Pholadidae*.

Se cunosc peste 250 de specii de ciuperci marine care atacă lemnul; este vorba de Ascomicete, Bazidiomicete și de Fungi Imperfecți.

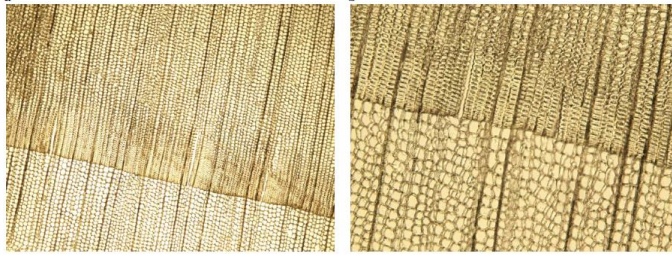
## Biodegradarea lemnului de către bacterii și insecte

Lemnul reprezintă un suport nutritiv pentru foarte multe organisme din regnuri diferite. Descompunerea lemnului se datorează în primul rând organismelor capabile să descompună celuloza, hemiceluloza, lignina și alte substanțe organice complexe care sunt caracteristice acestuia. Animalele, fără excepție, nu pot digera celuloza deoarece nu au enzime celulozolitice. Cu toate acestea în lumea animală există cei mai mulți devoratori ai lemnului, multe specii fiind xilofage. Termitele sunt cei mai periculoși xilofagi de pe Terra. Aceste animale se pot hrăni cu lemn grație fenomenului de simbioză. Aceste animale trăiesc în simbioză cu unele bacterii, fungi și protozoare capabile să sintetizeze enzime celulozolitice.

Lemnul atacat de bacteriile și fungii celulozolitici este preferat de insectele xilofage. Ele oricum nu pot digera celuloza, însă celuloza deja fragmentată de unele organisme celulozolitice face lemnul mai ușor digerabil pentru insecte. Așa ne putem explica de ce lemnul vechi, care este în mare măsură atacat de bacterii și de ciuperci devine o țintă preferată pentru multe specii de insecte xilofage, cum ar fi cele din familiile *Anobiidae*, *Lycidae*, *Cerambycidae*, *Curculionidae* etc.

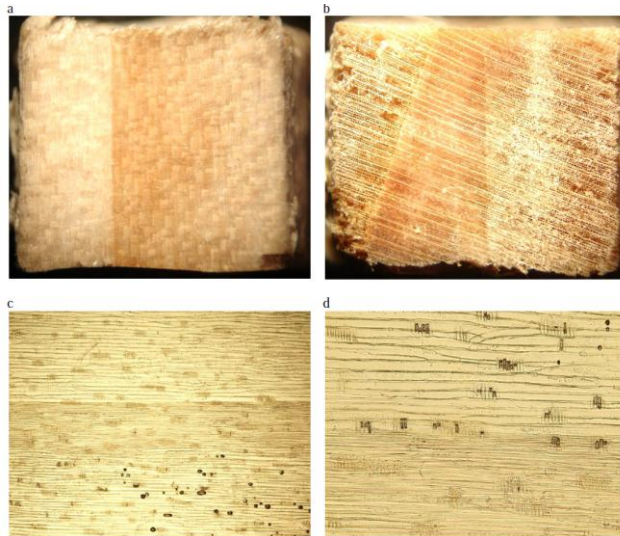
Atât bacteriile cât și fungii atacă peretele celular făcând posibilă pătrunderea bacteriilor și a hifelor în interiorul celulei producând distrugerea peretelui celular.

În cele ce urmează ne propunem să prezentăm unele aspecte ale degradării lemnului de către bacterii și ciuperci. În fig.99 prezentăm aspectul lemnului sănătos de brad în secțiune transversală. Limita dintre inelele anuale se observă cu claritate fiind dată de diferența dintre lemnul de primăvară și cel de toamnă. Culoarea este cea naturală, o culoare caracteristică lemnului sănătos, însă nuanțele diferite sunt determinate de structura particulară a vaselor lemnoase și de mărimea calibrului acestora.



**Fig. 99.** Lemn de brad sănătos în secțiune transversală  
(după B. Ungurean, 2011)

Culoarea poate fi ușor modificată datorită atacului unor bacterii sau ciuperci (fig.100). Interesant este că și în această situație se păstrează diferența dintre inelele anuale și dintre lemnul de primăvară și cel de vară-toamnă. În virarea culorii o importanță deosebită o prezintă și prezența țesutului parenchimatic. În secțiuni transversale culoarea lemnului nu pare prea mult modificată, în schimb se pot pune în evidență unele orificii, care nu reprezintă altceva decât secțiunile unor galerii de insecte xilofage.

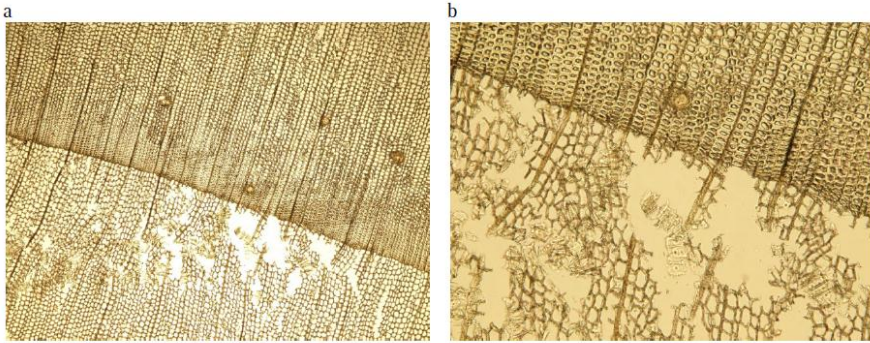


**Fig. 100.** Lemn de brad degradat (după B. Ungurean, 2011)

- a) aspect macroscopic longitudinal
- b) aspect macroscopic transversal
- c, d) aspecte ale fibrei lemnului de brad degradat în secțiune longitudinală



Atacul bacteriilor și al ciupercilor se orientează în primul rând asupra pereților celulari. Degradarea celor trei structuri ale pereților secundari permit pătrunderea agenților biodeterioratori în interiorul celulei și finalizarea procesului de biodegradare. Ca urmare a atacului în structura lemnului apar lacune mai mici sau mai mari în funcție numărul de celule care au fost distruse (fig.101).



**Fig. 101.** Lemn de brad degradat în secțiune transversală  
(după B. Ungurean, 2011)

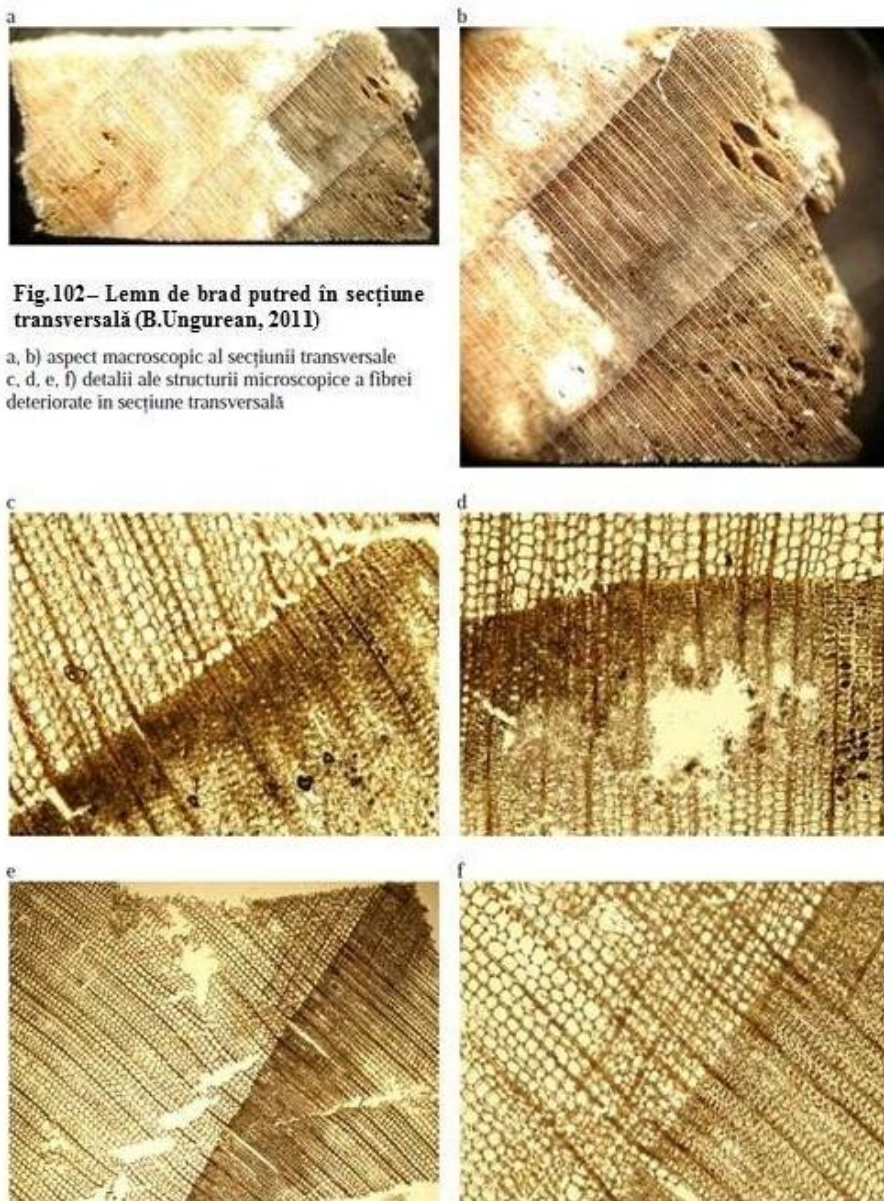
Putem sesiza cu ușurință distrugerea parțială sau totală a pereților celulari. Acest aspect se poate pune în evidență în secțiune transversală. Lacunele care apar în structura lemnului nu sunt determinate de larvele unor insecte xilofage; galeriile produse de acestea sunt altfel delimitate.

Ceea ce este deosebit de important de evidențiat este faptul că manifestarea atacului este adesea diferită în lemnul de primăvară și în cel de vară-toamnă. Lemnul de primăvară este mai vulnerabil, fiind mai ușor de penetrat de miceliile fungilor și de către bacterii.

În fig.102, se poate observa că inițierea atacului se face cu mai mare ușurință în lemnul de primăvară.

Procesul de biodegradare a lemnului poate fi urmărit cu ușurință și în lemnul de brad putred. Se poate observa extinderea atacului de la

un inel la altul. Zonele lacunale probează o degradare accentuată a lemnului.



**Fig.102 – Lemn de brad putred în secțiune transversală (B.Ungurean, 2011)**

a, b) aspect macroscopic al secțiunii transversale  
c, d, e, f) detalii ale structurii microscopice a fibrei deteriorate în secțiune transversală

În fig. 103 punem în evidență atacul unor insecte xilofage. Culoarea lemnului ne demonstrează acțiunea biodegradatoare a unor ciuperci (fig.103a) Este interesant traseul pe care unele larve xilofage îl urmează în structura lemnului. În fig.103b se observă că larva care a efectuat galeria nu s-a atins în partea superioară a galeriei de lemnul de vară-toamnă; limita este dreaptă și urmează delimitarea inelelor de creștere. Și în fig. 103c, constatăm că atacul este canalizat tot în zona lemnului de primăvară. Tindem să credem că aceste galerii au aparținut unor larve mici, dacă nu neonate, atunci din primele stadii larvare. Faptul că larva nu s-a atins de lemnul de vară-toamnă al inelului de creștere superior ne determină să considerăm că aceasta a avut capacitatea de a recunoaște acest lemn. Poate fi vorba atât de duritatea acestui lemn cât și de încărcătura diferită a acesteia în substanțe organice (este posibil ca gustul să fie diferit).

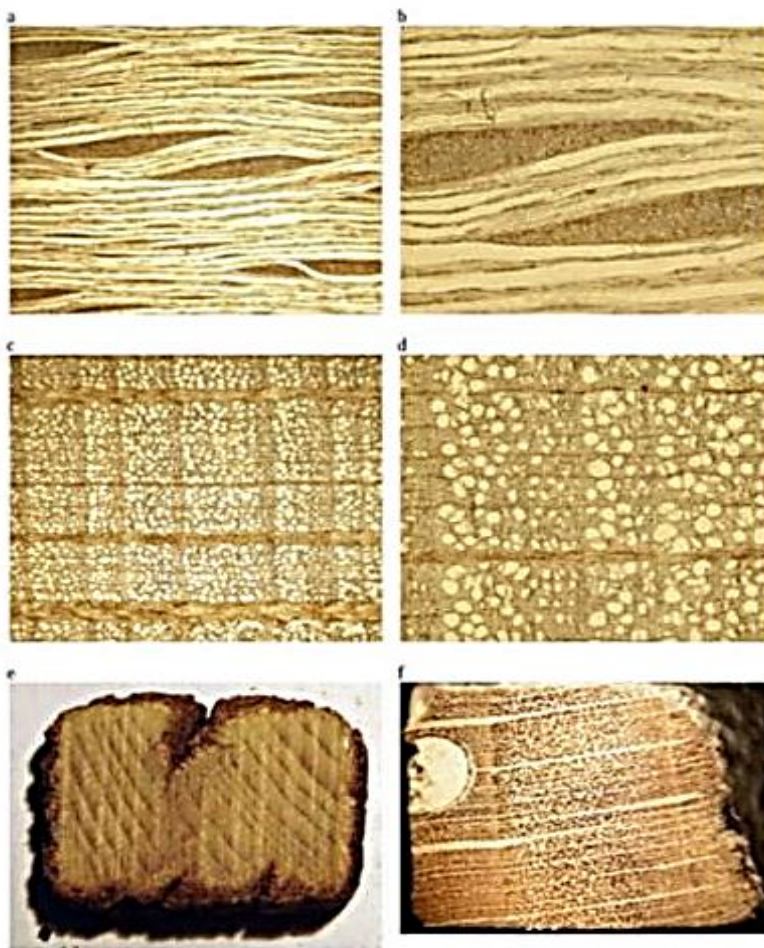


Fig. 103 – Lemn de brad învechit, atacat de insecte  
(B. Ungurean, 2011)

a) aspect macroscopic al secțiunii transversale  
b, c) aspect microscopic al fibrei în secțiune transversală



Lemnul de fag este preferat de multe specii de insecte xilofage. Lemnul sănătos are o culoare caracteristică. Unele diferențe de culoare sunt determinate de structura internă a țesuturilor lemnoase (fig.104).

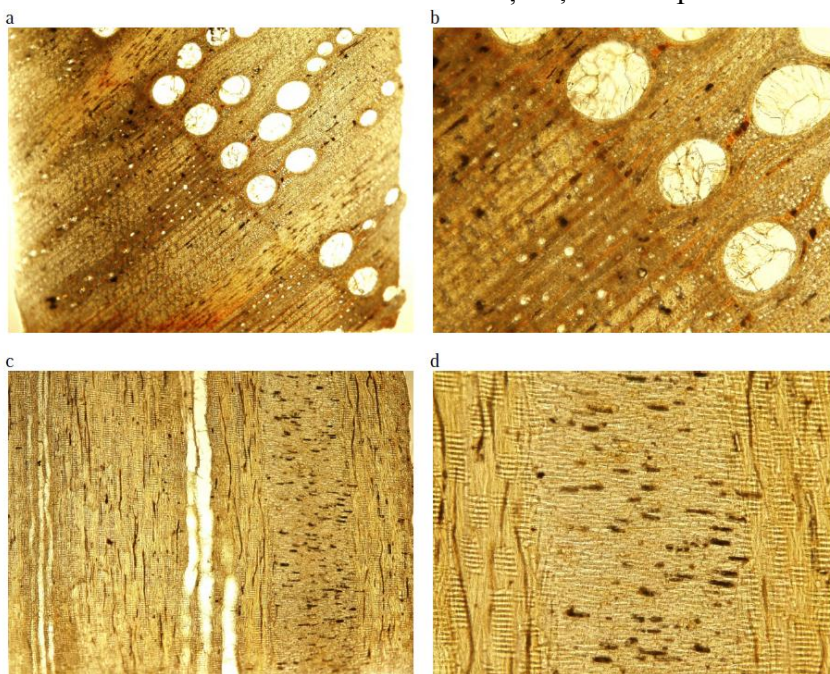


**Fig 104 -Aspecte ale lemnului de fag  
(B. Ungurean, 2011)**

- a, b) aspect microscopic al fibrei lemnului de fag sănătos în secțiune longitudinală
- c, d) aspect microscopic al fibrei lemnului de fag sănătos în secțiune transversală
- e) lemn de fag degradat (macroscopic)
- f) aspect macroscopic al secțiunii transversale prin lemn de fag învechit, atacat
- g) aspect macroscopic al secțiunii longitudinale prin lemn de fag degradat

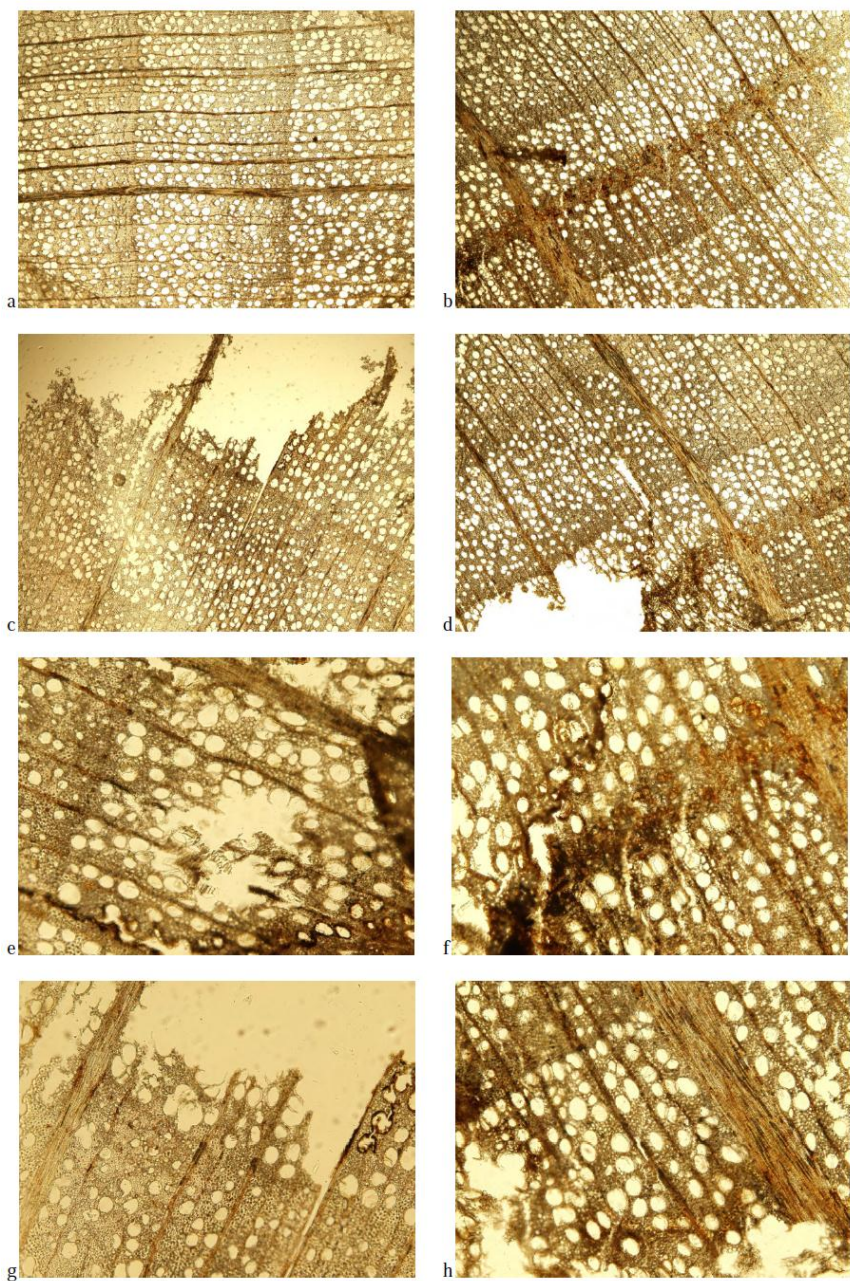
Limita dintre inelele anuale nu este bine delimitată, deși acestea pot fi recunoscute, existând o oarecare diferențiere între vasele lemnoase de primăvară și cele de vară-toamnă. Lemnul atacat de ciuperci își modifică culoarea. Culoarea brună sau brună-roșcată probează existența unui atac micotic. Pe lângă virarea culorii mai putem pune în evidență unele degradări ale vaselor lemnoase. În structura lemnului se formează lacune mai mici sau mai mari, iar pereții celulari apar deteriorați (fig.106). Atacul se extinde de la un vas la altul, apoi se formează focare de atac care se contopesc și distrug în totalitate arhitectura lemnului.

În ceea ce privește lemnul de stejar acesta se comportă la atacul bacteriilor și al ciupercilor în mod asemănător. În fig. 105 prezentăm unele aspecte ale lemnului sănătos. Culoarea este caracteristică, fiind determinată de structura vaselor lemnoase și a țesutului parenchimatic.



**Fig. 105.** Structura fibrei de stejar sănătos (după B. Ungurean, 2011)  
a,b) secțiune transversală; c,d) secțiune longitudinală





**Fig. 106.** Aspecte ale fibrei lemnului de fag degradat, în secțiune transversală (după B. Ungurean, 2011)

Bunurile de patrimoniu confecționate din lemn devin ținta atacului unui număr mare de insecte xilofage aparținând ordinului Coleoptera, familiilor: *Anobiidae*, *Lyctidae*, *Cerambycidae*, *Curculionidae*. Lemnul poate fi atacat și de *Bostrichidae*, *Scolytidae*, însă aceste insecte acționează în mediul natural, atacul lor fiind localizat între scoarța și cilindrul central. Insectele cele mai dăunătoare lemnului sunt însă termitelile: acestea însă nu se găsesc în zona noastră geografică. La noi se găsește o singură specie, *Reticulitermes lucifugus*, care produce atacuri izolate în unele păduri din Dobrogea.

Anobiidele pot fi considerate cele mai dăunătoare insecte care atacă lemnul din construcții, mobilierul, icoanele, cărțile etc. Putem considera că speciile de *Anobium*, *Stegobium paniceum* și *Xestobium rufovillosum* fac parte din categoria insectelor sinantropice; au devenit cosmopolite, fiind legate de locuințele umane.

Anobiidele preferă lemnul vechi; cu cât este mai vechi cu atât este mai mult asociat cu atacul unor bacterii și fungi, care sintetizând enzime celulozolitice pot ataca lemnul descompunând fibrele celulozice din peretele vaselor lemnoase. Cu cât lemnul este mai „prelucrat” de bacterii și de ciuperci cu atât devine mai accesibil atacului insectelor xilofage. Prezența orificiilor de eclozare ale adulților de anobiide în mobilier fără existența unui atac activ, reprezintă un „certificat” care atestă vechimea acestuia, asigurându-i o așa-numită „patină nobilă”.

În limbajul popular anobiidele sunt denumite „cari” sau „ceasornicari”. *Anobium* este „ceasornicarul morții”. Zgomotul produs de femelele adulte în timpul dansului nupțial se aseamănă foarte mult cu tic-tac-ul unui ceasornic. În locuințele oamenilor bătrâni se auzea mai întotdeauna tic-tac-ul anobiidelor datorită mobilierului vechi și a corzilor de lemn din construcția caselor care cădeau pradă speciilor de anobiide.

Anobiidele nu fac parte din primul eșalon de agenți biodeterioratori care atacă lemnul; fac parte din al doilea sau al treilea eșalon.

„Pregătirea” lemnului pentru atacul anobiidelor este făcută de bacterii și de fungi, fiind esențială pentru acești dăunători. Femelele de anobiide depun ouăle în unele neregularități ale lemnului prelucrat, în crăpături, în unele găuri lăsate de cuie etc. În situația în care lemnul nu prezintă fisuri atunci femelele fac mici gropițe în care depun câteva ouă. Larvele neonate încep să facă galerii individuale înaintând pe diferite direcții în substratul nutritiv. Galeriaiile devin sinuoase și sunt orientate pe diferite direcții, care diferă de la o specie la alta. La un atac intens densitatea galeriilor devine din ce în ce mai mare cucerind întregul suport nutritiv.

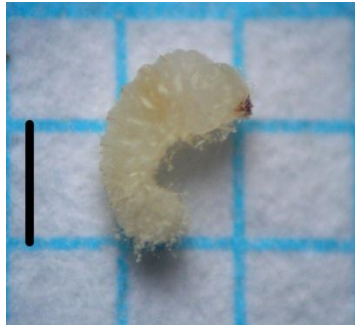
În cele ce urmează ne propunem să prezentăm modul de atac al unor specii xilofage asupra lemnului din construcții și a obiectelor confecționate din lemn, din familiile: *Anobiidae*, *Lyctidae*, *Cerambycidae*, *Curculionidae*.

*Anobium punctatum* De Geer este una dintre cele mai periculoase specii de anobiide care atacă lemnul. Adulții și larvele pot fi recunoscuți cu ușurință după caracteristicile morfologice (fig.107 și 108).



**Fig. 107.** Adulți de *Anobium punctatum* (după Moșneagu M., 2009)





**Fig. 108.** Larva de *Anobium punctatum* (după Moșneagu M., 2009)

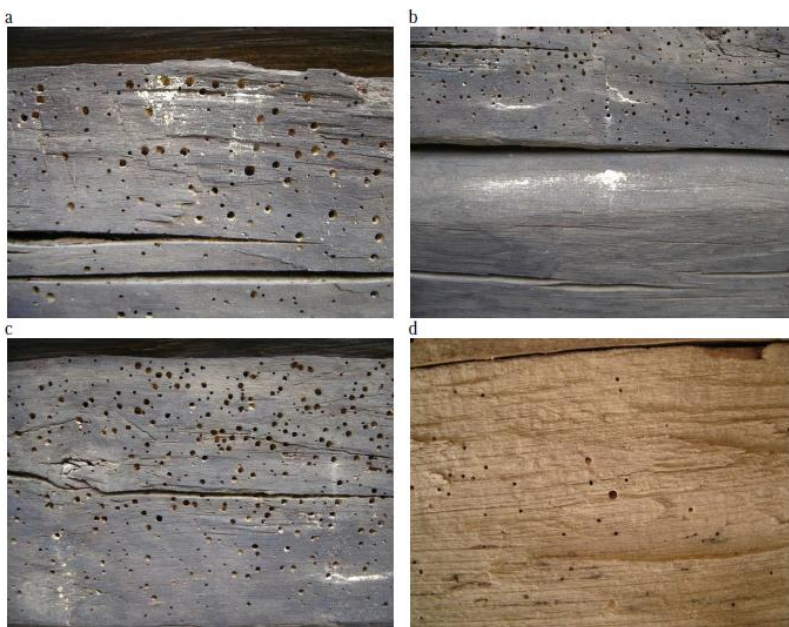
Femelele prezentând o mare prolificitate creează o densitate extrem de mare în spații mai mult sau mai puțin închise (case, biserici etc.). Densitatea atacului se recunoaște cu ușurință după numărul de orificii de eclozare ale adulților, care apar în lemnul atacat (fig.109 și 110). În mod normal orificiile de eclozare se găsesc pe dosul icoanelor, pe lemnul fără vopsea. Eclozarea adulților se face pe partea nevopsită deoarece lemnul permite o mai bună aerisire a galeriilor și a locului de împupare a larvelor, la capătul galeriilor. Atunci când se apelează la tratamente chimice, care nu sunt aplicate corect (nu asigură moartea tuturor indivizilor) larvele se retrag spre partea opusă, unde realizează împuparea. În această situație adulții realizează eclozarea perforând atât lemnul cât și stratul de culoare. Densitatea galeriilor este uneori impresionantă (fig.111). Ca urmare a unui atac puternic lemnul își pierde caracteristicile structurale, devine spongios și se rupe sub propria greutate (fig.112). Atacul activ se poate recunoaște cu ușurință după rumegușul fin care se adună pe diferite suporturi (fig.113). Pentru a ne convinge asupra intensității atacului provocat de *Anobium punctatum* și a pagubelor pe care le poate provoca prezentăm în figura 114 adulții găsiți într-o singură icoană atacată.

Atacul speciei *Anobium punctatum* se suprapune adesea cu cel al speciei *Anobium pertinax* (fig.115). Desigur că este greu de diferențiat acest atac asociat, aproape imposibil. Se poate constata însă prezența

celor două specii după adulții morți și unele exuvii larvare rămase în rumegușul din galerii.



**Fig. 109.** Lemn atacat de *A. punctatum* (după Moșneagu M., 2009)



**Fig. 110.** Degradări survenite lemnului în urma atacului specie *Anobium punctatum* (după Ungurean B., 2011)



**Fig.111.** Galeriale de *Anobium punctatum* urmează, în general, direcția fibrelor lemnului dar, spre suprafață, galeriile devin neregulate (după Moșneagu M., 2009)



**Fig.112.** Icoana Sf. Nicolae, pictată pe foiță de aur, și-a pierdut rezistența datorită atacului speciei *Anobium punctatum*, iar fragmentele rupte s-au pierdut (după Moșneagu M., 2009)





**Fig.113.** Rumeguș produs de *Anobium punctatum* scuturat din orificiile de zbor pe suprafețe (după Moșneagu M., 2009)



**Fig.114.** Adulți de *Anobium punctatum* colectați dintr-o singură icoană (după Moșneagu M., 2009)



**Fig.115.** Atacul asociat al speciilor *Anobium punctatum*, *A. pertinax* și al ciupercilor (iconostasul bisericii «Sf. Ioan Bogoslov», Agapia) (după Moșneagu M., 2009)

Specia *Xestobium rufovillosum* De Geer este cel mai mare anobiid din zona paleartică. Adulții și larvele se recunosc cu ușurință după caracteristicile morfologice (fig.116 și 117).



**Fig. 116.** *Xestobium rufovillosum* - adulți (după Moșneagu M., 2009)



**Fig. 117.** *Xestobium rufovillosum*- larvă (după Moșneagu M., 2009)

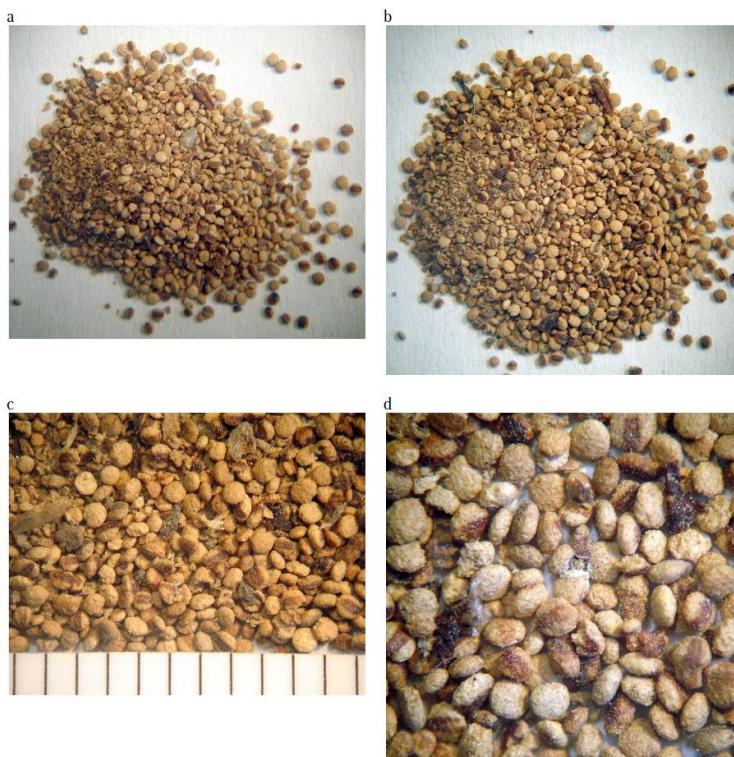
Atacul acestor specii se recunoaște ușor după mărimea orificiilor de eclozare ale adulților și după grosimea galeriilor (fig.118). Adesea în galerii se găsesc indivizi morți. Atacul activ se recunoaște după rumegușul care este scos la suprafața lemnului atacat. Excrementele acestei specii sunt caracteristice și pot fi folosite la recunoașterea speciei în lipsa adulților și a exuviilor larvei (fig.119).







**Fig.118.** Scările dinspre cafas de la M-rea Frumoasa au fost distruse de *Xestobium rufovillosum* (după Moșneagu M., 2009)



**Fig. 119.** Excremente ale speciei *Xestobium rufovillosum* din lemn de stejar - a, b) ansamblu c) aspectul dejecțiilor speciei *X. rufovillosum* raportat la scală milimetrică d) detaliu al structurii particulare a

excrementelor speciei *X. rufovillosum*. Sunt discoidale, aplatizate, biconvexe. Au o culoare galben-roșcat spre brun coloritul în ansamblu nefiind unitar ci vibrat cu benzi de culoare mai închisă pe fundalul mai deschis la o parte din particulele de excremente. Consistența lor este solidă. (după Ungurean B., 2011)

În cărți, atacul acestei specii este adesea asociat cu al speciilor *Anobium punctatum* sau *A. pertinax*, sau cu al speciei *Stegobium paniceum* (fig.120).



**Fig.120.** Atacul speciei *Stegobium paniceum* asociat cu cel de *Xestobium rufovillosum* (Ceaslov, 1797) (după Moșneagu M., 2009)

*Stegobium paniceum* L. este specia cea mai comună. Aceasta se datorează atât prolificității foarte ridicate a femelelor cât și a spectrului larg de polifagie. Fără teama de a greși putem afirma că *Stegobium paniceum* atacă toate substanțele de origine organice. Poate perfora și structuri groase de material plastic. Unii adulți eu evadat din cutii de plumb rozând pereții acestora.

Adulții și larvele de *Stegobium paniceum* se recunosc cu ușurință după unele caracteristici morfologice (fig.121 și 122).





**Fig.121.** *Stegobium paniceum*: femela mai voluminoasă decât masculul (a), vedere laterală (b) și ventrală (c) a adultului (după Moșneagu M., 2009)



**Fig. 122.** Larvă de *Stegobium paniceum* (după Moșneagu M., 2009)

*Oligomerus ptilinoides* Wallaston este o specie mai puțin întâlnită în muzee. Se recunoaște după caracteristice structurale ale adultului (fig.123). Destul de rar se întâlnește și specia *Oligomerus brunneus* Sturn. (fig.124). Atacul acestor specii se asociază cu al celorlalte specii de anobiide. Atacă lemnul foioaselor (nuc, fag, gorun etc.).

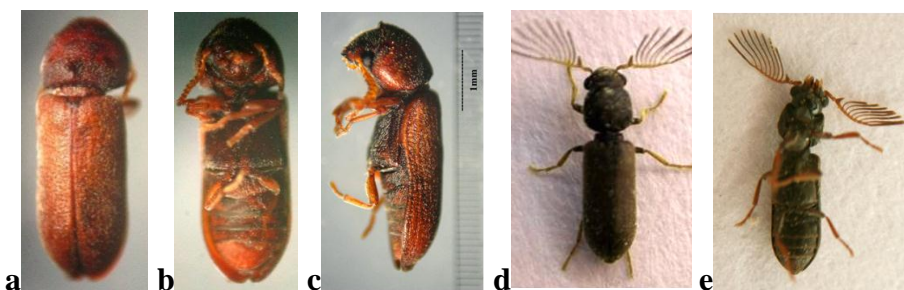


**Fig. 123.** Adulți de *Oligomerus ptilinoides* (după Moșneagu M., 2009)

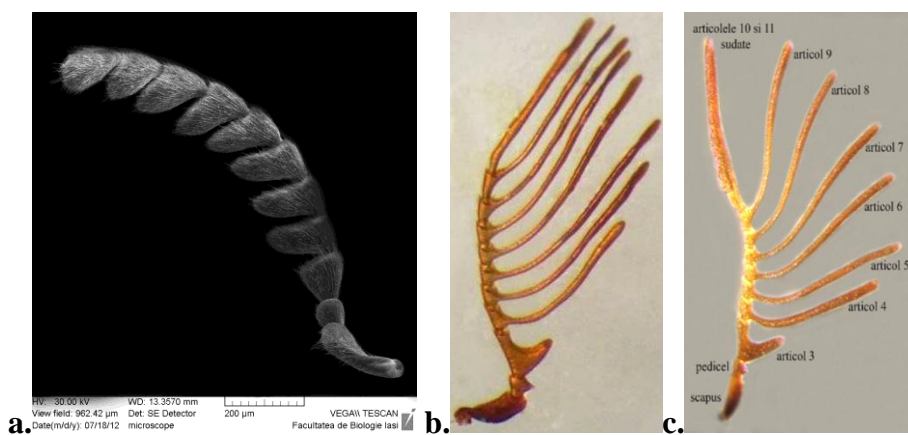


**Fig. 124.** *Oligomerus brunneus*: vedere dorsală (a - scala 1 cm ) și ventrală (b) (după Moșneagu M., 2009)

*Ptilinus pectinicornis* L. este mai rar întâlnită în medii închise (clădiri, biserici etc.). Specia are un accentuat dimorfism sexual; antenele sunt cu structuri diferite la femelă și mascul (fig.125 și 126). Larva are o structură tipică pentru anobiide (fig.127).



**Fig. 125.** *Ptilinus pectinicornis* L. (Col. Anobiidae), adulți:  
 - femelă, vedere dorsală (a), ventrală (b) și laterală (c)  
 - mascul, vedere dorsală (d) și dorsală (e) (după Axinte L., 2012)



**Fig.126 a – c.** Antenele speciei *P. pectinicornis* (după Axinte L., 2012):  
 - antenă femelă - (a)  
 - antenă mascul: - ansamblu (b, c)

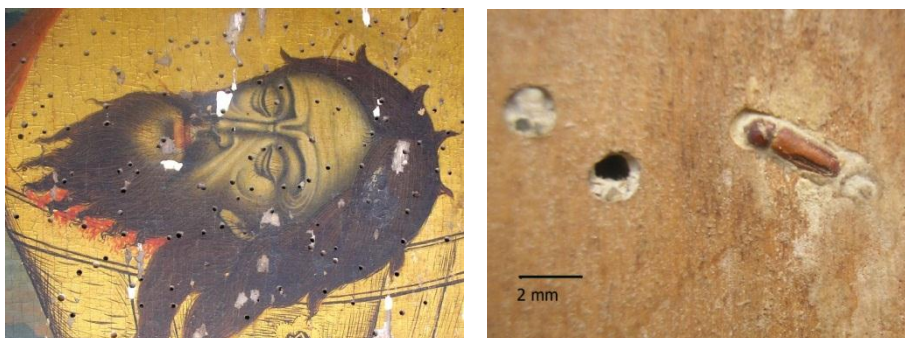


**Fig. 127.** Aspecte ale larvei speciei *P. pectinicornis*: - ansamblu lateral (după Axinte L., 2012)

Atacul acestei specii poate fi recunoscut după orificiile de eclozare ale adulților (fig.128) și după galeriile formate de larve (fig.129).







**Fig.128.** Icoana *Tăierea capului Sf. Ioan Botezătorul* degradată de *Ptilinus pectinicornis* (după Moșneagu M., 2009)



**Fig.129.** Icoana „Sfânt stâlpnic” degradată de *Ptilinus pectinicornis* (după Moșneagu M., 2009)

Lemnul atacat poate deveni spongios și își pierde rezistența mecanică.

În figura 130 punem în evidență unele caracteristici ale atacului speciei *Ptilinus pectinicornis* în lemnul de fag.



**Fig. 130.** Aspecte ale atacului speciei *Ptilinus pectinicornis* în lemn de fag

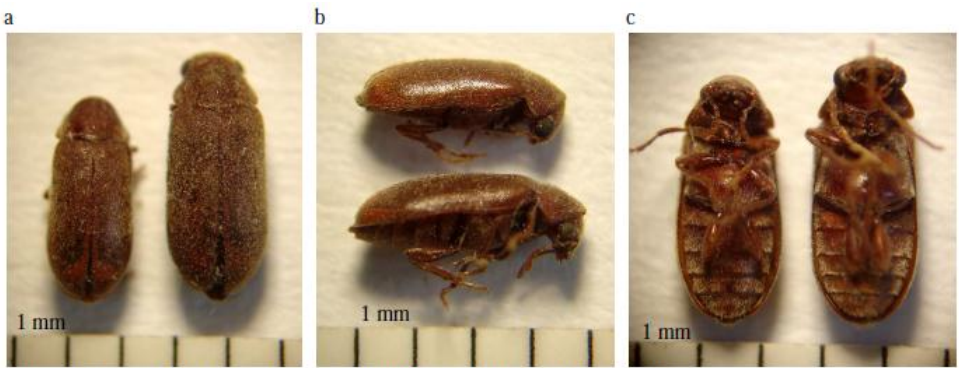
a) adult mascul al speciei pe lemn de fag atacat;

b, c) ansamblu și detaliu al rumegușului compactat în galerii;

d) aspect de ansamblu al unei „grămăjoare” de rumeguș (se poate observa similitudinea dintre aspectul rumegușului cu cel al speciei *L.*

*linearis*) (după Ungurean B., 2011)

*Ernobius mollis* L. poate fi recunoscut după particularitățile morfologice ale adultului (fig.131) și ale larvei (fig.132). Aspecte ale atacului acestei specii putem observa în fig.133.

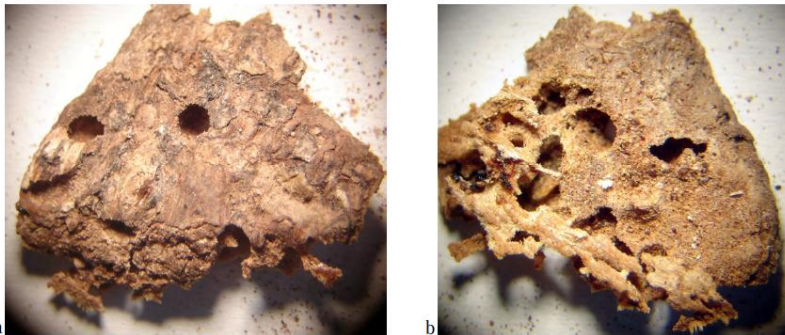


**Fig. 131.** Adulți ai speciei *Ernobius mollis* L. (Col. Anobiidae)  
(după Ungurean B., 2011)

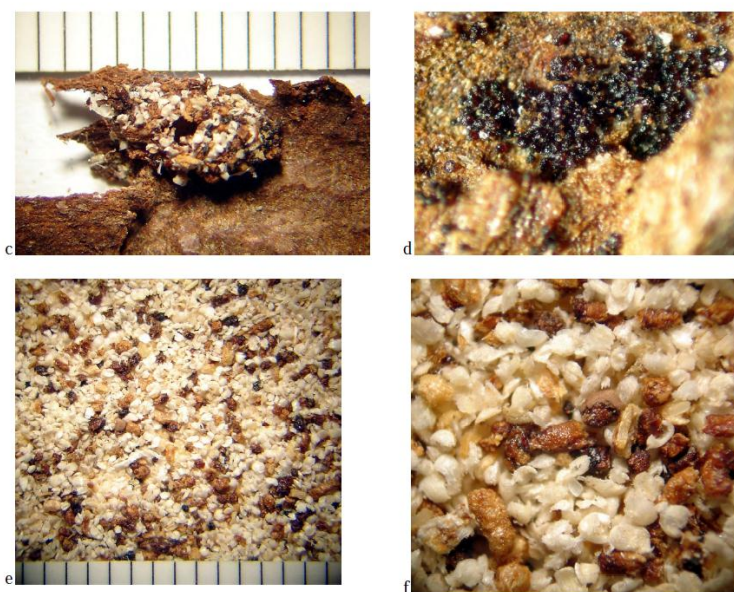
a) vedere dorsală; b) vedere laterală; c) vedere ventrală.



**Fig. 132.** Larva speciei *E. mollis* L. (Col. Anobiidae)  
(după Ungurean B., 2011)

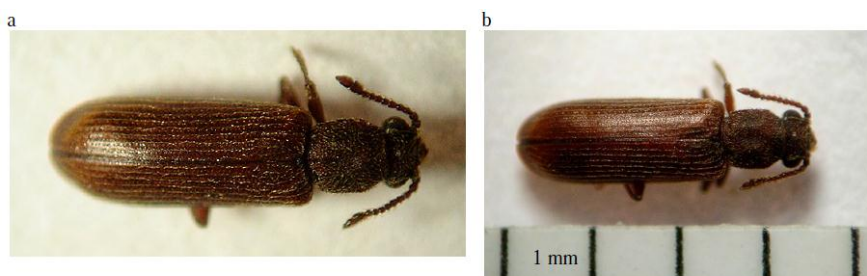






**Fig. 133.** Galerii și rumeguș din lemn de brad la specia *Ernobius mollis* (după Ungurean B., 2011)

*Lyctus linearis* Goeze. este o specie frecvent întâlnită în muzee și biserici. Adulții și larvele se recunosc cu ușurință după particularitățile morfologice (fig.134 și 135). Atacul activ poate fi recunoscut după rumegușul care se scurge prin orificii, sub forma unei pudre fine (fig.136).



**Fig. 134.** Adult de *Lyctus linearis* Goeze. (Col. Lyctidae), văzut dorsal (după Ungurean B., 2011)

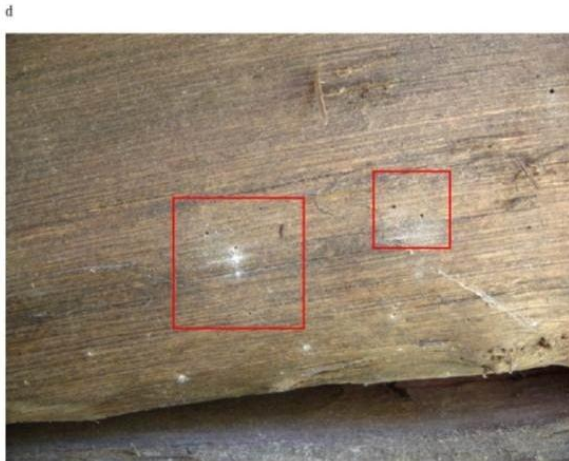




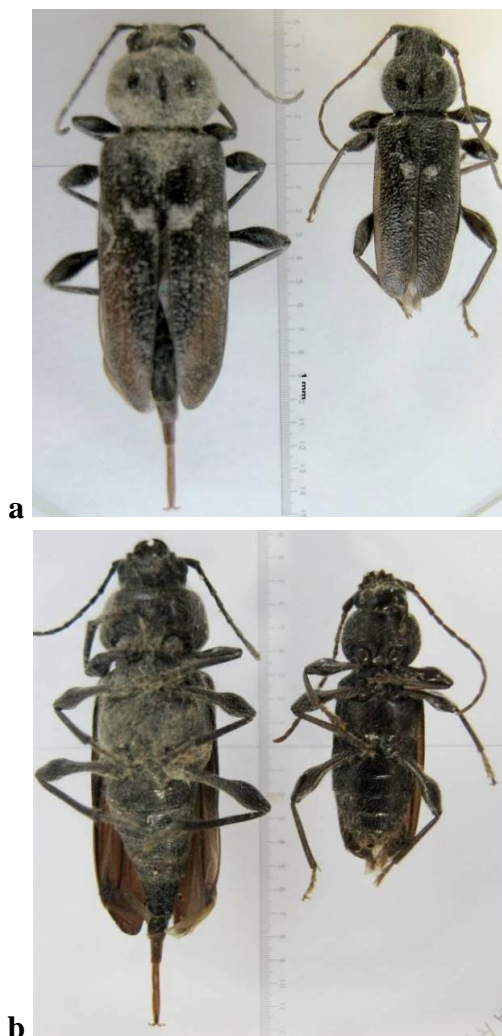
**Fig. 135.** Larva speciei *Lyctus linearis* Goeze (Col. Lyctidae)



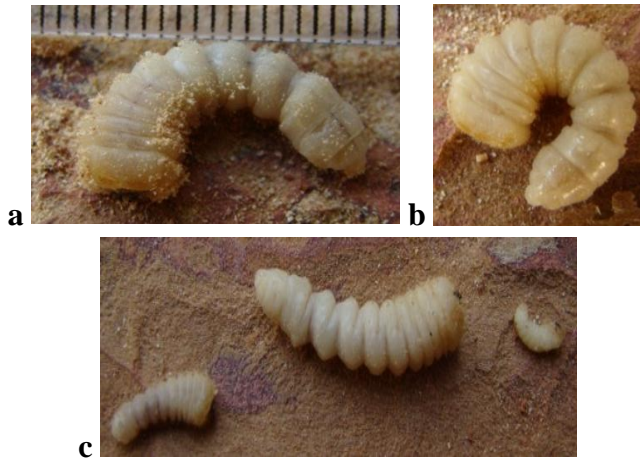
**Fig.136** – Aspecte ale atacului speciei *Lyctus linearis* Goeze. (Col. Lyctidae), (după Ungurean B., 2011)  
a), b), d) atac instalat în lemn de ulm (*Ulmus minor* Mil.)  
c) macrofotografie cu aspectul rumegușului produs în urma atacului



*Hylotrupes bajulus* L. este una dintre cele mai mari specii de insecte xilofage care poate provoca pagube lemnului din construcții. Adulții și larvele se recunosc cu ușurință după caracteristicile structurale ale corpului (fig.137 și 138).



**Fig. 137.** Adulți ai speciei *Hylotrupes bajulus* L. (Col. Cerambycidae),  
- vedere dorsală (a) și ventrală (b) (după Axinte L., 2012)



**Fig. 138.** Larvele speciei *H. bajulus*, (după Axinte L., 2012)

Atacul acestei specii este foarte dăunător deoarece galeriile făcute de larve sunt foarte mari; lemnul își pierde rezistența și cedează sub propria greutate (fig.139 și 140).



**Fig. 139.** Aspecte ale capacității larvelor de cerambycide de a ataca material plastic, (după Axinte L., 2012)

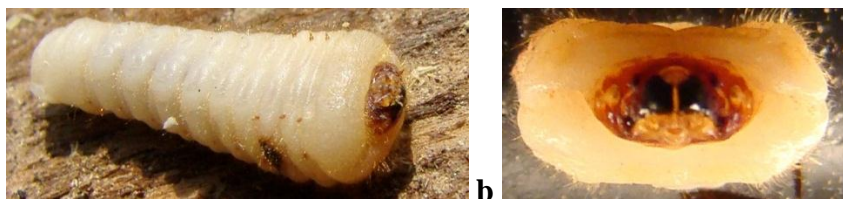


**Fig. 140.** Aspecte ale atacului speciei *Hylotrupes bajulus* (după Axinte L., 2012)

Un alt cerambicid dăunător este *Callidium villosulum* L. Se întâlnește mai rar. Adulții și larvele au unele caracteristici morfologice particulare (fig.141 și 142).



**Fig. 141.** Adulți ai speciei *Callidium violaceum* L. (Col. Cerambycidae) - vedere dorsală (după Axinte L., 2012)

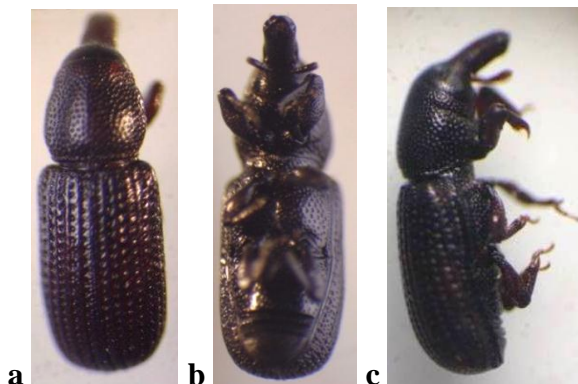


**Fig. 142.** Larva speciei *C. violaceum*: aspect ventral (a) și aspect frontal al capsulei cefalice (b), (după Axinte L., 2012)

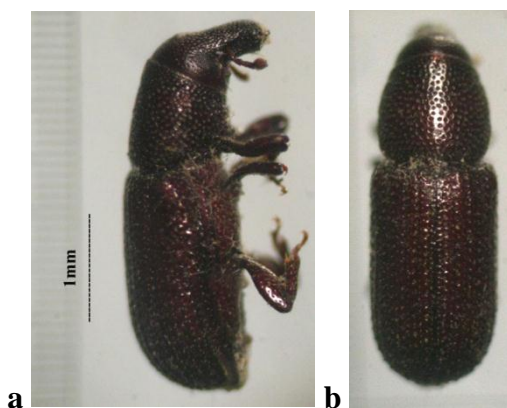


Unele aspecte ale atacului efectuat de cerambicide se poate observa în figurile 139 și 140. Atacul este asemănător cu cel al lui *Hylotrupes bajulus*.

Atacul unor specii de curculionide se întâlnește adesea în muzee. *Stereocorynes truncorum* Germar. se recunoaște ușor după particularitățile morfologice ale adultului (fig.143). Atacul poate fi asociat cu cel al speciei *Hexarthrum exiguum* Boh. (fig.144).



**Fig. 143.** Adulți ai speciei *Stereocorynes (Rhyncolus) truncorum* G. (Col. Curculionidae): vedere dorsală (a), ventrală (b), și laterală (c), (după Axinte L., 2012)



**Fig. 144.** Adulți ai speciei *Hexarthrum exiguum* Boh. (Col. Curculionidae): vedere laterală (a) și dorsală (b) (după Axinte L., 2012)

## Coleoptere dăunătoare bunurilor de patrimoniu

### **Fam. Anobiidae**

- Xestobium rufovillosum* De Geer
- Stegobium paniceum* L.
- Oligomerus brunneus* Sturn.
- Oligomerus ptilinoides* Wallaston
- Oligomerus retowskii* Schilsky
- Anobium denticolle* Crenz.
- Anobium fulvicorne* Sturn.
- Anobium pertinax* L.
- Anobium punctatum* DeGeer
- Anobium rufipes* L.
- Ernobius mollis* L.
- Priobium carpini* Herbst.
- Ptilinus fuscus* Geoff.
- Ptilinus pectinicornis* L.
- Xyletinus ater* Crenz.
- Xyletinus pectinicornis* L.

### **Fam. Lyctidae**

- Lyctus brunneus* Steph.
- Lyctus impressus* Com.
- Lyctus linearis* L.
- Lyctus pubescens* Panz.

### **Fam. Cerambycidae**

- Arhopalus rusticus* L.
- Callidium violaceum* L.
- Hesperophanes cinereus* Vill.
- Hylotrupes bajulus* L.

### **Fam. Curculionidae**

- Hexarthrum exiguum* Boh.
- Stereocorynes truncorum* Germar.

## **Biodeteriorarea produsă de insecte cărților, papirusului, pergamentului și altor produse organice**

Dacă în preistorie omul a încercat să-și înscrie ideile pentru mai târziu folosind diferite materiale (piatra, fildeșul, tabletele de lemn, de lut sau de metal), mai târziu a căutat suporturi mai practice pentru scris.

**Papirusul** a fost inventat cu mai bine de 4000 de ani înainte de Hristos. Cel mai vechi exemplar, vechi de peste 3500 de ani î.Hr. se găsește la Biblioteca națională din Paris. Este făcut din papură - *Cyperus papyrus*, care creștea pe malurile Nilului.

**Pergamentul** a înlocuit treptat papirusul ca urmare a calităților sale: rezistență, durabilitate, finețe și posibilitatea de a fi folosite ambele fețe. A fost utilizat pentru prima dată în Asia Mică. Numele său vine de la statul antic al Pergamului. Plinius cel Bătrân precizează în **Istoria naturală** că fabricarea pergamentului s-a făcut în jurul anilor 190 î.Hr. și că a fost folosit de către regele Eumenes al II-lea, care avea o bibliotecă uriașă de manuscrise. În felul acesta s-a putut sustrage monopolului asupra papirusului practicat de egipteni.

Pentru pergament se foloseau piei de oaie, vițel, capră, măgar, antilopă etc. Pieile erau bine spălate și întinse și tratate cu var nestins pe partea poroasă, care urma a fi răzuită. Se puneau apoi într-un butoi cu var. După aceea erau spălate, întinse și subțiate, apoi lustruite și vopsite. Împărații bizantini foloseau un pergament de culoarea purperei, pe care scriau cu litere de aur.

Cel mai fin pergament, confecționat din piele de vițel nenăscut se numește **velum**.

**Hârtia** a apărut mai târziu. În China se prepara în secolul al II-lea d.Hr. din vată, de mătase. În anul 105 Ts'ai Lun folosea la prepararea hârtiei fibre vegetale, zdrențe din îmbrăcăminte, scoarța unor copaci etc. Secretul a fost păstrat mult timp. Abia în secolele al VII-lea și al VIII-lea tehnica de fabricarea s-a răspândit din Asia Centrală până

în Egipt. Primele mori de hârtie, așa cum se spunea, au apărut la Toledo în 1150 în Franța în 1338 și în Germania în 1390. Europeanii foloseau cârpe din fibre textile și clei de oase în locul amidonului.

La Fabrino, în Italia, se introduce în 1282 marcarea prin filigrane. Se fabrica o hârtie de foarte bună calitate, iar în filigran erau reprezentate plante, animale, arme etc.

Nevoia de hârtie a devenit exponențială odată cu descoperirea tiparului, în secolul al XV-lea.

Primele cărți tipărite, denumite **incunabule** apar în jurul anilor 1500.

Abia în secolul al XIX-lea hârtia început să fie fabricată mecanic prin mașina inventată de Louis-Nicolas Robert, perfecționată de Gamble, Fourdrinier și Donkin în Anglia. Dacă prin 1850 se folosea pentru fabricarea hârtiei de ziar pasta din paie, prin 1870-1880 a fost folosită pasta de lemn. Pentru înclieiere s-a renunțat la gelatină și se folosește colofoniul și alaunul.

Cu timpul fabricarea hârtiei a fost foarte diversificată în funcție de calitatea dorită. Astăzi, materia primă pentru fabricarea hârtiei este foarte diversificată: lemn, hârtie veche, paie, cârpe, materiale nefibroase, var, carbonat de Ca, sodă caustică, talc, titan, rășini, amidon, coloranți etc.

Componentele principale ale hârtiei sunt fibrele de celuloză și un agent de înclieiere de origine animală sau vegetală. În timp ce fibrele de celuloză conferă rezistență, cleiul determină formarea unui tot unitar și capacitatea de absorbție a cernelii.

Prin compoziția sa hârtia este susceptibilă atacului agenților biodeterioratori. Reprezintă un mediu nutritiv preferat de multe organisme. Substanțele organice încorporate în hârtie, precum celuloza, lignina, hemiceluloza și cleiurile naturale atrag diferite specii de bacterii, fungi, insecte etc.

Prin conținutul în celuloză, hârtia reprezintă o sursă de carbon organic pentru foarte multe specii de microorganisme heterotrofe.



Celelalte ingrediente din structura hârtiei (lianți, pigmenți etc.) atrag alte categorii de microorganisme și nu numai.

Având foarte multă celuloză hârtia atrage insectele xilofage.

Hârtia ca atare reprezintă o masă nutritivă pentru numeroase specii de bacterii, fungi, insecte etc. cărțile însă, prin structura lor pot oferi o hrană foarte diversificată agenților biodeterioratori.

Structura cărților poate fi mult diferită, însă sunt respectate anumite modele structurale.

Cartea este formată din blocul de carte, care reprezintă partea centrală și legătura, care este formată din cusătură și copertă. Legătura de la copertă la blocul de carte se face prin **forzaț**, care are o parte fixă, prinsă de copertă și una mobilă. De obicei forzațul este confecționat dintr-o hârtie mai rezistentă. Între forzaț și blocul de carte se găsește pagina de gardă, după care urmează pagina de titlu (fig.145).

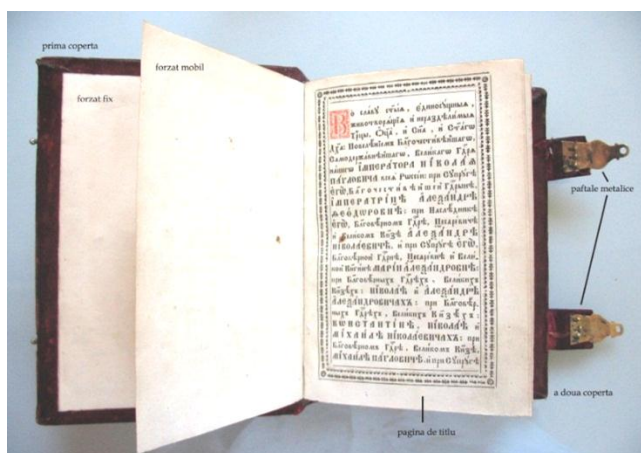
În ceea ce privește coperțile, acestea pot avea structură foarte diferită. La început cărțile aveau învelitori din pergament, care depășeau laturile blocului pentru protecție. În secolele al XV-lea și al XVI-lea se foloseau coperte confecționate din lemn, care erau îmbrăcate în piele sau cu diferite țesături. Îmbrăcămintea depășea scoarța și acoperea blocul de carte. Astfel de scoarțe erau împodobite pe la colțuri cu aur, argint și cu diferite pietre prețioase sau semiprețioase.

Cartea veche se lega după un anumit model, cunoscut sub numele de „*réliure monastique*”. Este vorba de cărțile bisericesti de mare valoare. Astăzi procedeul se mai păstrează doar în cazul unor legături artistice.

Colile erau cusute cu sfoară de cânepă, pe benzi transversale pe cotor, colile fiind întărite pe cotor cu o pânză tare. Un astfel de cotor se numește „cotor în binduri”. După coasere cotorul cărții se încheie cu amidon sau clei de oase.

Astfel de cărți se găsesc în patrimoniul eclezial având valoare atât prin conținutul cât și prin structura lor.

Ca specialiști ne dăm seama că prin structura hârtiei și prin materialele folosite la legare cărțile devin deosebit de atractive pentru diferite specii de agenți biodeterioratori.



**Fig. 145.** Structura cărții - Sfânta Evanghelie, tipărită la Moscova în anul 1845 – Depozitul de obiecte bisericești de la Mănăstirea Golia (Iași) (după Moldovan G., 2007)

Având drept sursă de hrană principală celuloza, cărțile devin ținta principală a insectelor xilofage. Alături de acestea apar și specii care vizează sursa de hrană oferită de coperti și de materialele de legătură. Așa ne putem explica atacul asociat și adesea eşalonat al unor specii de insecte din ordinele: **Thysanura, Psocoptera, Lepidoptera, Coleoptera.**

În cele ce urmează prezentăm o listă a speciilor de insecte dăunătoare cărților semnalate în România, de diferiți cercetători și prezentate pe larg de doamna Moldovan (Gămălie) Georgiana în teza de doctorat a domniei sale: **Insecte dăunătoare cărților și combaterea lor**, susținută în 2007. O primă listă a speciilor dăunătoare cărților ne-o oferă doamna conf.dr. Mariana Mustață în cartea **Insecte dăunătoare cărților** (2001).

### Specii de insecte dăunătoare cărților

#### Ordinul *Thysanoptera*

##### **Familia *Lepismatidae***

*Lepisma saccharina* Linné

*Thermobia domestica* Pack.

#### Ordinul *Blattaria*

##### **Familia *Blattidae***

*Blatta orientalis* Linné

#### Ordinul *Psocoptera* (*Corrodentia*)

##### **Familia *Trogidae***

*Cerobasis guestfalica* Kolbe

*Lepinotus inquilinus* Heyden

*Trogium pulsatorium* Linné

##### **Familia *Liposcelidae***

*Liposcelis simulans* Broadhead

*Liposcelis liparus* Broadhead

**Familia Psyllipsocidae**

*Psyllipsocus ramburii* Longchamps

Ordinul **Coleoptera**

**Familia Anobiidae**

*Anobium punctatum* DeGeer

*Lasioderma serricorne* Fabricius

*Ptilinus pectinicornis* Linné

*Stegobium paniceum* Linné

*Xestobium rufovillosum* DeGeer

**Familia Ptinidae**

*Ptinus brunneus* Duftschmid

*Ptinus fur* L.

*Ptinus raptor* Sturm

*Ptinus villiger* Reitter

*Mezium affine* Boieldieu

*Niptus hololeucus* Falderman

**Familia Tenebrionidae**

*Tribolium castaneum* Olivier

**Familia Dermestidae**

*Anthrenus fuscus* Olivier

*Anthrenus museorum* Linné

*Anthrenus picturatus* Solsky

*Anthrenus pimpinellae* Fabricius

*Anthrenus polonicus* Mroczkowski

*Anthrenus scrophulariae* Linné

*Anthrenus verbasci* Linné

*Attagenus brunneus* Linné

*Attagenus piceus* Olivier

*Dermestes lardarius* Linné

*Trogoderma glabrum* Herbst

Ordinul *Lepidoptera*

**Familia *Oecophoridae***

*Hofmannophila pseudospretella* Stainton

**Familia *Tineidae***

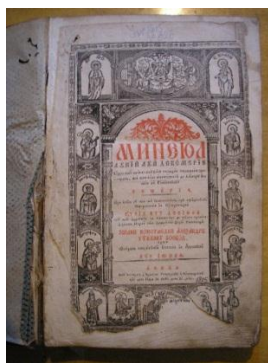
*Tinea pellionella* Linné

*Tineola bisselliella* Hummel

Atacul insectelor în biblioteci, arhive sau în depozite poate fi constatată atât în cazul unui atac activ, cât și pe baza urmelor lăsate de un atac vechi.

În cazul unui atac activ putem constata prezența insectelor pe pereți și mai ales pe geamuri, în special în timpul perioadei de reproducere când se realizează zborul nupțial.

Atât atacurile vechi cât și de cele active se pot constata pe baza unor urme lăsate: prezența unor orificii de eclozare, a unor excremente lăsate de adulți pe o rază mai mică sau mai mare în jurul focarului de atac, prezența unor larve sau adulți vii sau morți și chiar a unor exuvii larvare (fig.146).





**Fig.146.** Atacul speciei *Xestobium rufovillosum* asupra cărților (după Moșneagu M., 2009)

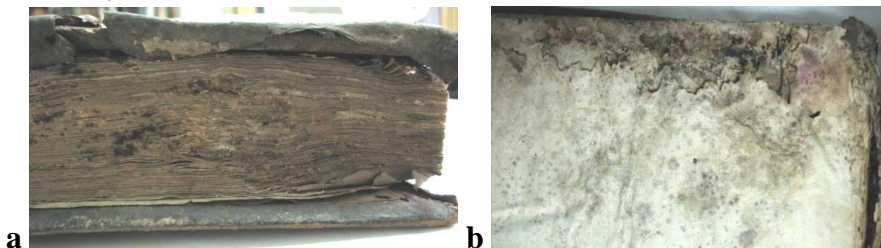
Deteriorările provocate de insecte cărților variază în funcție de fiecare specie în parte și de intensitatea atacului.

Deteriorările provocate de *Lepisma saccharina* constau în ușoare abraziuni ale hârtiei sau unele „dantelări”, dar și prin dispariția unor litere (fig.147).



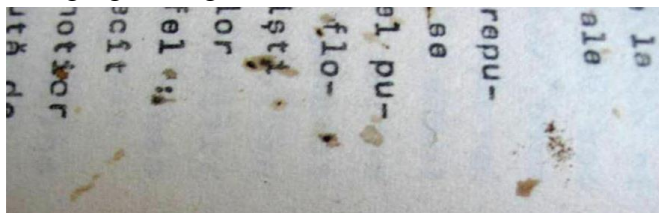
**Fig. 147.** Atacul speciei *Lepisma saccharina* (după Moldovan G., 2007)

Deteriorări superficiale pot apare și în cazul atacului unor psocoptere. Ele se hrănesc în special cu mucegaiul fixat pe hârtie, dar consumă și părți din conținutul hârtiei (fig.148).



**Fig. 148.** Deteriorări provocate de psocoptere asupra hârtiei: cantul superior al volumului (a) și detaliu cu cel de-al doilea forțat (b) (după Moldovan G., 2007)

Blastidele pot produce eroziuni superficiale, cu contur neregulat, dar neajunsul cel mai mare este determinat de pătarea hârtiei cu deflecții sau cu lichid regurgitat (fig.149).

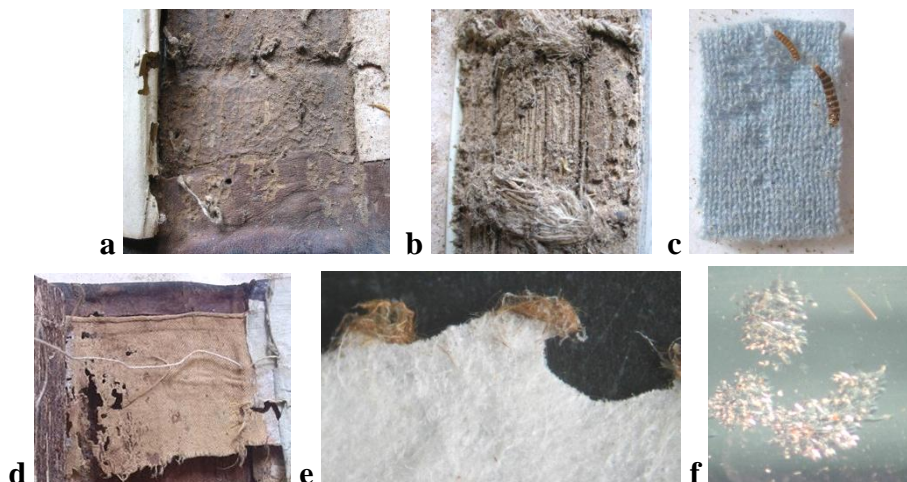


**Fig.149.** Atacul lui *Blatta orientalis* - pătarea hârtiei cu dejecții de către blatide (după Moldovan G., 2007)

Larvele de dermestide atacă mai des legătura cărții. Se localizează în spațiul cuprins între copertă și cotor. Larvele de *Anthrenus* și *Attagenus* se hrănesc mai ales cu exuviile larvare și cu resturi de hrană de origine animală provenite de la alte atacuri. Atacă totuși pielea și unele țesături și chiar și hârtia. Larvele de *Attagenus* provoacă galerii în substrat, care sunt umplute cu excremente și rumeguș (fig.150).



Anobiidele sunt cei mai periculoși dăunători ai cărților. *Stegobium paniceum* atacă cartonul coperților, forzațul lipit cu adeziv de origine animală sau cu pap, precum și primele file din blocul cărții. Datele din literatură citează cazuri în care unele larve de *Stegobium paniceum* pot traversa blocul cărții de la o copertă la alta. Adulții efectuează orificii de eclozare în coperti, indiferent de natura substratului lor.

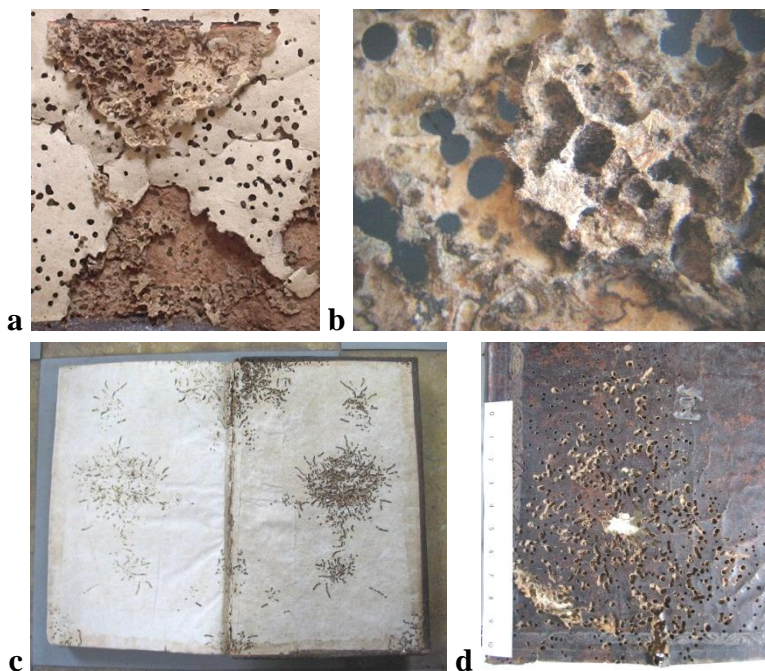


**Fig. 150.** Atacul larvelor de *Attagenus*

Deteriorări provocate de larve de Dermestidae: rosături provocate de *Attagenus pellio* și *Anthrenus pimpinellae* asupra pielii și textilelor de la legătură (a, b), lână deteriorată de larve de *Attagenus* sp. (c), atacul speciei *Attagenus piceus* asupra legăturii (d), deteriorarea hârtiei (e) și a plasticului (f) de către larvele speciei *Anthrenus verbasci* (după Moldovan G., 2007)

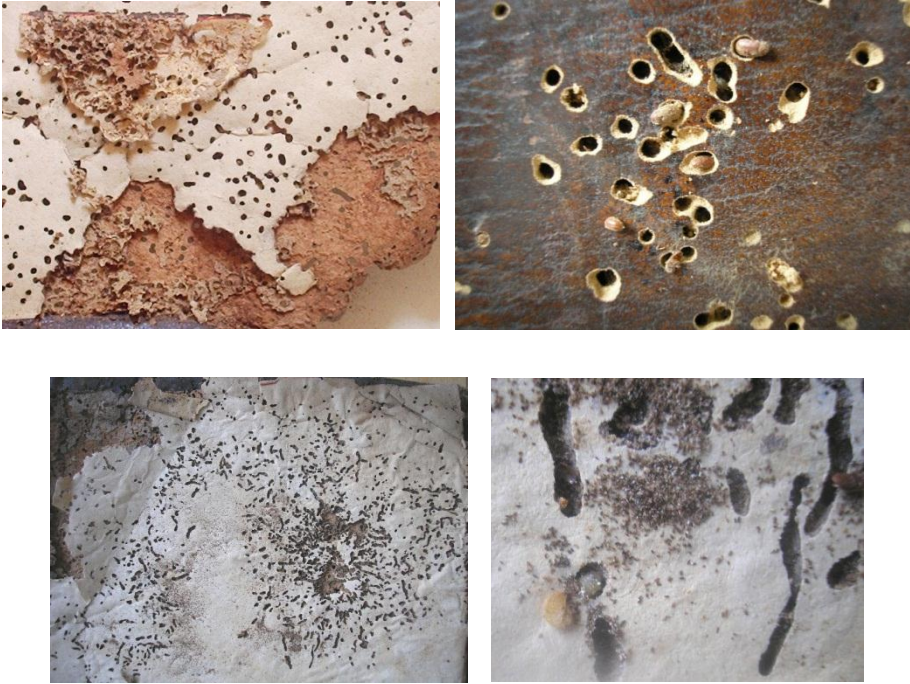
În figurile 151, 152, 153 și 154 putem urmări atacuri caracteristice ale speciei *Stegobium paniceum*.



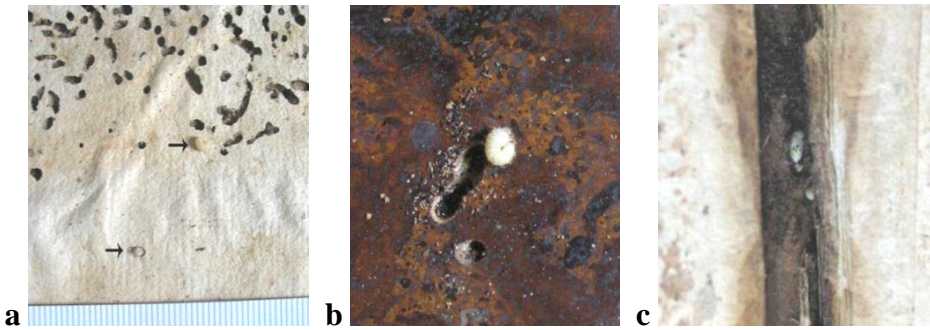


**Fig. 151.** Atacul speciei *Stegobium paniceum* - Deteriorări provocate de *Stegobium paniceum*: orificii în carton, hârtie și piele (a) și detaliu al deteriorării cartonului (b), concentrarea galeriilor în coperta de carton în partea centrală, spre colțuri și legătură (c) și detaliu al deteriorărilor provocate pielii (d) (după Moldovan G., 2007)



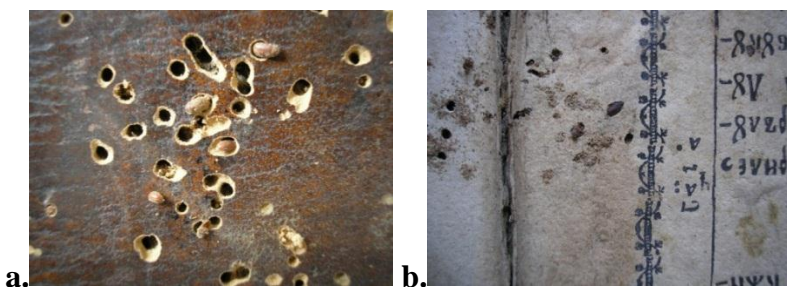


**Fig.152.** Degradări provocate de *Stegobium paniceum* în colecția de *Mineie* sec. al XIXlea (M-rea Golia) (după Moșneagu M., 2009)





**Fig. 153.** *Stegobium paniceum* - larve vii în copertă (a-b), pupă la legătura unui volum (c), adult viu la capătul unei galerii (d) și adult mort pe pap, la legătura unei cărți (e) (după Moldovan G., 2007)



**Fig. 154.** Larve de *Stegobium paniceum* ce se dezvoltă în carton cu piele (a, c), în hârtie manuală (b) sau în paie utilizate la legătura cărții (d) (după Moșneagu M., 2009)



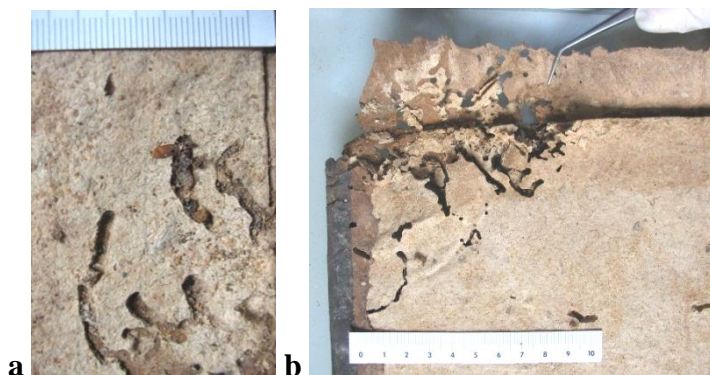
*Stegobium paniceum* atacă în special lemnul, hârtia și cartonul. Pentru efectuarea orificiilor de eclozare pot perfora și pielea. Golurile efectuate de larve sunt foarte sinuoase, iar densitatea lor depinde de intensitatea atacului.

Atacul larvelor de *Xestobium* este cel mai dăunător posibil. Sunt atacate în aceeași măsură, copertile și blocul cărții. Galeriile sunt foarte mari și sinuoase și sunt pline cu rumeguș păstos și cu excremente (fig.155,156 și 157).

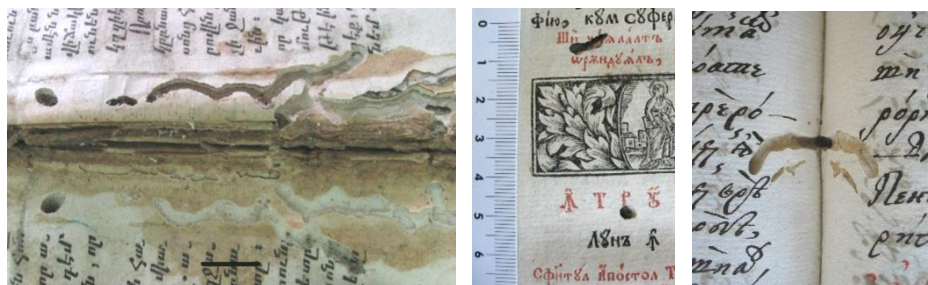


**Fig. 155.** Atacul speciei *Xestobium rufovillosum* asupra cartonului și hârtiei: prima copertă (a – exterior, b - interior), pagină miniată (c),

detaliu cu galerii în blocul de carte (d) și fragmentarea paginilor (e-f)  
(după Moldovan G., 2007).

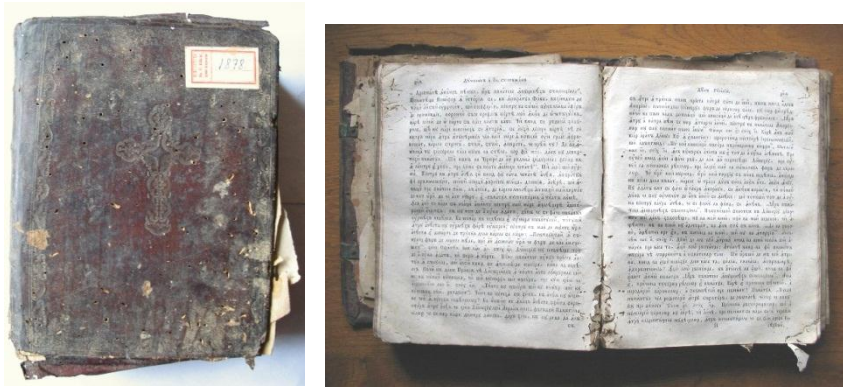


**Fig. 156.** Atacul speciei *Xestobium rufovillosum* asupra cartonului unei coperti (după Moldovan G., 2007).



**Fig. 157.** *Xestobium rufovillosum* - deteriorarea hârtiei: galerii de diametru mare în blocul de carte (segmentul reprezintă 10 mm)  
(după Moldovan G., 2007)

Deși specia *Anobium punctatum* atacă mai rar hârtia și cărțile, acestea pot deveni preferate în lipsa lemnului. Larvele atacă atât hârtia cât și copertile care au la bază o structură lemnoasă sau carton; atacă însă și pielea din coperti (fig.158, 159 și 160).

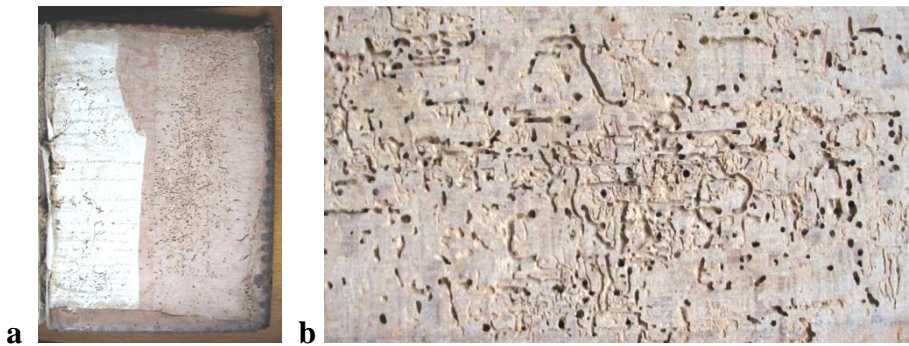


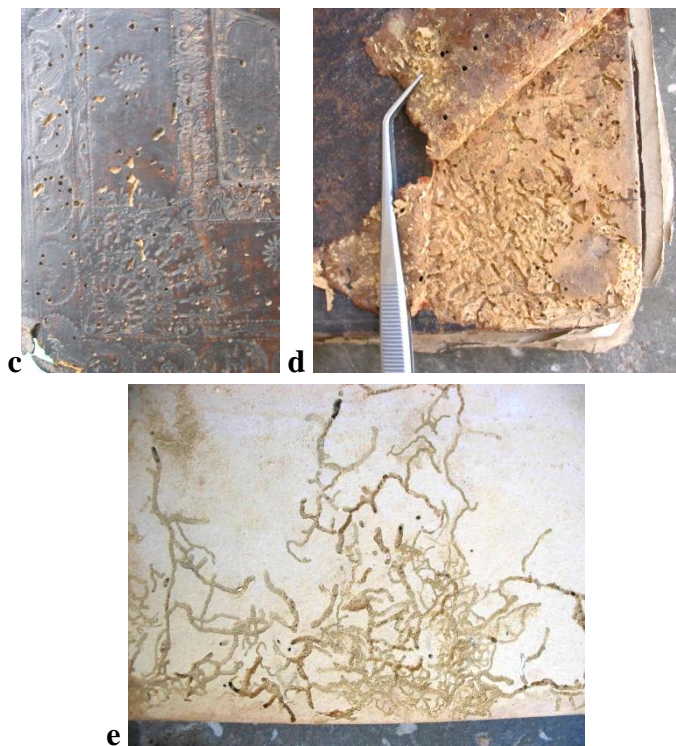
**Fig.158.** Deteriorări provocate de *Anobium punctatum* asupra lemnului, hârtiei și pielii (după Moldovan G., 2007)





**Fig. 159.** Detalii privind atacul speciei *Anobium punctatum*: vedere de ansamblu a primei coperti (a), a doua copertă deschisă (b), lemnul primei coperti cu orificii și galerii sub piele (c) și pielea perforată de către adulți (d) (segmentele reprezintă 10 mm) (după Moldovan G., 2007)





**Fig. 160.** Deteriorări provocate de *Anobium punctatum* asupra coverților de lemn (a-b), pielii (c) și cartonului (d-e) (după Moldovan G., 2007)

Au fost semnalate atacuri ale speciei *Ptilinus pectinicornis* asupra unei evanghelii din 1742 (fig.161).

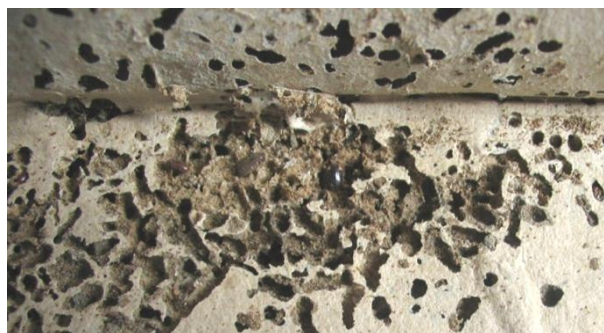






**Fig. 161.** Aspecte ale atacului speciei *Ptilinus pectinicornis* asupra unei Evanghelii (datată 1742) (după Moldovan G., 2007)

Adesea s-a semnalat un atac asociat al speciilor *Stegobium paniceum* și *Ptinus fur*. Larvele de *Ptinus fur* consumă unele exuvii ale larvelor de *Stegobium paniceum*, sau unii indivizi morți rămași în galerii, însă atacă și hârtia și cartonul și structurile de la cotorul cărților (fig.162).



**Fig. 162.**Atacul speciei *Stegobium paniceum* și *Ptinus fur* asupra unei coperti (după Moldovan G., 2007)

Atacul ptinidelor asupra pielii din coperti este semnalat adesea. Atacul este localizat, de obicei, la legătura cărților, însă poate pătrunde și în grosimea copertei și în hârtia blocului (fig.163).



**Fig. 163.** Aspecte privind atacul ptinidelor asupra pielii copertilor (segmentul reprezintă 10 mm) (după Moldovan G., 2007)

În fig.164 prezentăm un atac asociat asupra cărților al speciilor *Ptinus fur* și *Ptinus raptor*. Atacul este îndreptat în special asupra copertilor și a legăturilor, însă se poate extinde și asupra blocului curții. Prezentăm, de asemenea, în fig.165 atacul speciei *Ptinus brunneus* asupra unei cărți.



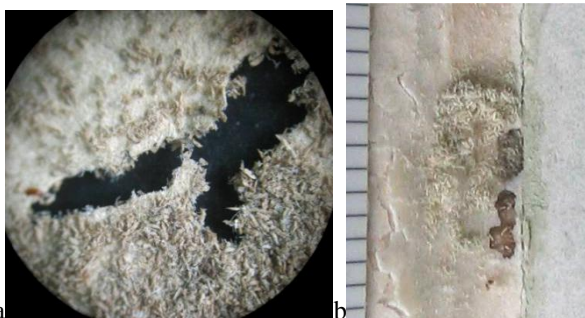


**Fig. 164.** Deteriorări provocate de *Ptinus fur* și *Ptinus raptor* asupra hârtiei blocului de carte (după Moldovan G., 2007)



**Fig. 165.** Deteriorări provocate de larvele și adulții speciei *Ptinus brunneus* asupra hârtiei, cartonului și pielii (după Moldovan G., 2007)

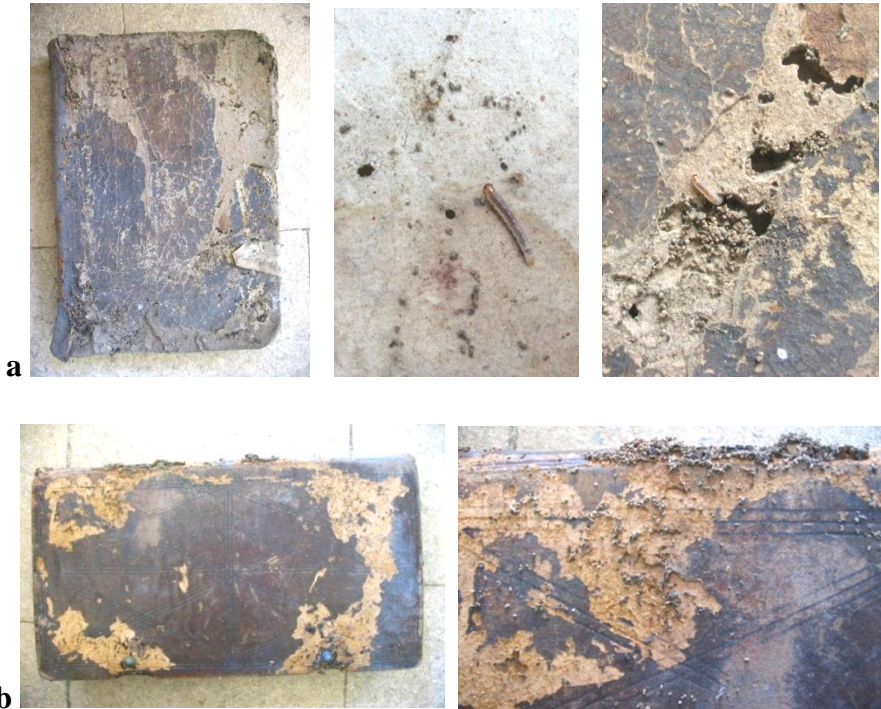
În galeriile făcute într-o carte a fost semnalată prezența speciei *Mezium affine* (fig.166).



**Fig. 166.** Atacul speciei *Mezium affine* (după Moldovan G., 2007)



Adesea cărțile sunt preferate și de unele larve de lepidoptere. Atacul este orientat mai ales asupra copertelor, mai ales atunci când sunt învelite cu stofă. Larvele pot trece și la carton, hârtie și piele. Au fost semnalate pagubele provocate de larve de *Hofmannophila pseudospretella* (fig.167) și de *Tineola bisselliella* (fig.168).



**Fig. 167.** Deteriorări provocate de larvele de *Hofmannophila pseudospretella* în carton, hârtie (a) și piele (b) (după Moldovan G., 2007)



**Fig. 168.** Atacul speciei *Tineola biselliella* (după Moldovan G., 2007)

Cărțile nu constituie suport nutritiv doar pentru insecte. Foarte multe specii de bacterii și de fungi preferă cărțile, mai ales atunci când umiditatea este mai ridicată. Petele provocate de bacterii și de fungi pe cărți se pot recunoaște cu ușurință. Dacă umiditatea este însă ridicată și cărțile sunt ținute în condiții total neprielnice se ajunge la situații grave (fig.169) și când practic totul este pierdut. Este regretabil dar trebuie să spunem că sunt situații în care cărți de mare valoare ajung să nu mai poată fi salvate datorită atacului microorganismelor (fig.170).



**Fig. 169.** Carte atacată de bacterii, fungi și insecte



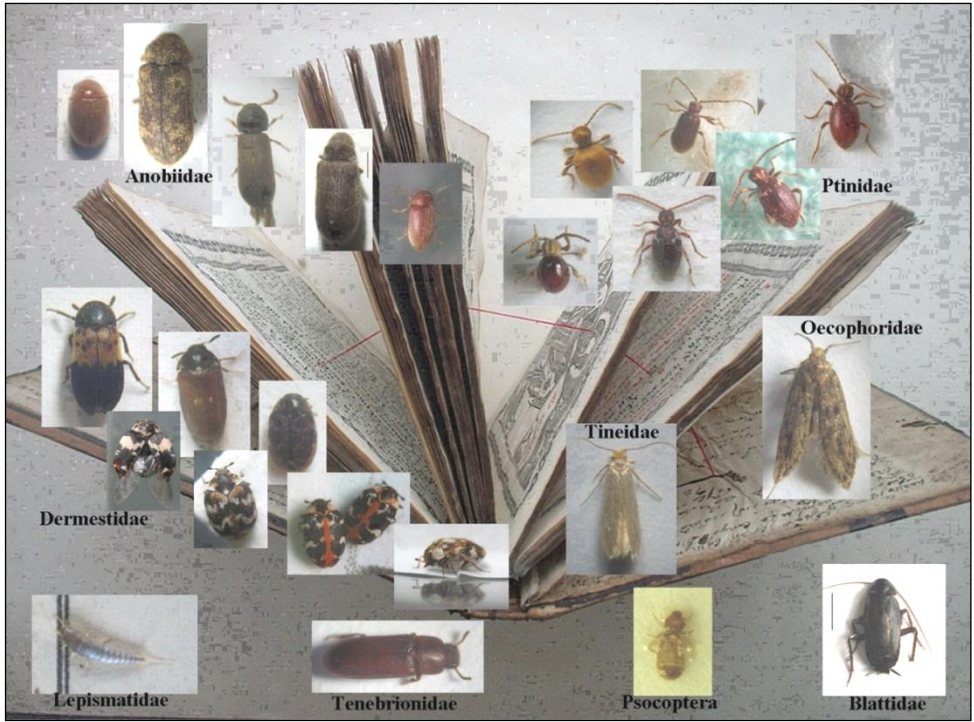
**Fig. 170.** Carte compromisă ca urmare a atacului mucegaiurilor

Cartea reprezintă un mediu nutritiv preferat de foarte multe specii de organisme, din diferite regnuri (Monera, Fungi, Animalia). Reprezintă un mediu ecologic complex, un biochorion în care stabilesc numeroase specii și care realizează relații complexe între ele. Cartea reprezintă o nișă unică; ea ca substrat nutritiv și celelalte condiții de mediu în care se găsește (fig.171).



**Fig. 171.** Factorii care influențează instalarea și desfășurarea atacului insectelor dăunătoare asupra cărților (după Moldovan G., 2007)

Complexul de specii de insecte care atacă hârtia și în mod special cărțile este impresionant (fig.172).



**Fig. 172.** Complexul de insecte care atacă cărțile  
(după Moldovean G., 2007)





## Alterarea biologică a materialelor

Biodegradarea este în aceeași măsură o binecuvântare pentru natură și o pedeapsă pentru om atunci când își propune să conserve unele bunuri materiale. Pentru natură este o binecuvântare deoarece asigură funcționarea marelui circuit bio-geo-chimic. Putem afirma, fără teama că vom greși, că toate bunurile materiale de origine organică sunt supuse biodeteriorării, chiar dacă unele dintre ele par a fi „recalcitrante”.

Până nu demult aveam convingerea că substanțele xenobiotice nu sunt biodegradabile; în cea mai mare parte acestea sunt artificiale, sintetice. Constatăm însă că și pentru acestea natura „învață” să găsească mecanisme de biodegradare. Simțim că natura încearcă unele soluții și în acest domeniu. Unele substanțe xenobiotice sunt transformate de unele microorganisme și „oferite” altora pentru continuarea procesului de biodegradare.

Desigur că pentru cei care lucrează în domeniul conservării bunurilor de patrimoniu biodegradarea bunurilor materiale reprezintă un flagel greu de înlăturat.

Când vom înțelege că pentru toate structurile materiale (organice, anorganice și xenobiotice) natura prezintă căi de atac pentru introducerea lor în marele circuit bio-geo-chimic, vom fi mai atenți și mai responsabili în organizarea și desfășurarea unor activități de conservare a bunurilor de patrimoniu.

Deci, natura are „ac de cojoc” pentru tot ce ființează în mediul său. Așa ne putem explica apariția unor efecte de biodeteriorare chiar și acolo unde ne așteptăm mai puțin. Agenții biodeterioratori aparțin tuturor regnurilor lumii vii, însă în lumea microorganismelor domină (bacteriile, funghi și apoi algele).

Nu putem înscrie aici toate speciile de agenți biodeterioratori care acționează asupra bunurilor de patrimoniu producând pagube.

Totuși, nominalizăm unele dintre genurile mai importante care atacă bunurile materiale adaptând schema propusă de Mandrioli et al. (1998).

**Tabelul 10.** Agenți biodeterioratori

Grupa sistematică	Genurile	Distrugeri provocate
<p><b>Bacterii heterotrofe</b></p> <p><b>Fungi</b> Ascomycete</p> <p>Deuteromycete</p> <p>Zygomycete</p>	<p><u>Hârtie</u></p> <p><i>Cytomorpha, Sporocytophaga, Cellvibrio, Cellfalcicula</i></p> <p><i>Alternaria, Aspergillus, Penicillium, Myrothecium, Stachybotrys, Stemphylium</i></p> <p><i>Trichoderma, Trichothecium, Urocladium</i></p> <p><i>Mucor, Rhizopus</i></p>	<p>- eroziuni; - pete; - schimbări în caracteristicile mecanice.</p> <p>- eroziuni; - pigmentații; - schimbări în caracteristicile mecanice.</p>
<p><b>Bacterii heterotrofe</b></p> <p><b>Fungi</b> Ascomycete</p> <p>Basidiomycete</p> <p>Deuteromycete</p>	<p><u>Lemn</u></p> <p><i>Pseudomonas, Achromobacter, Cytophaga, Sporocytophaga, Sorangium, Vibrio, Cellvibrio, Cellfalcicula</i></p> <p><i>Alternaria, Coniothyrium, Humicola, Hypoxylon, Aureobasidium, Penicillium</i></p> <p><i>Coriolus, Fomes, Pholiota, Pleurotus, Polystictus, Serpula, Poria</i></p> <p><i>Trichoderma</i></p>	<p>- eroziuni; - schimbări în caracteristicile mecanice.</p> <p>- eroziuni; - pete; - decolorări; - rigiditate; - scăderea integrității structurale.</p>

<p><b>Bacterii heterotrofe</b></p> <p><b>Fungi</b> Ascomycete</p> <p>Deuteromycete</p>	<p style="text-align: center;"><u>Materiale sintetice</u></p> <p><i>Pseudomonas, Nocardia, Brevibacterium, Arthrobacter, Cellulomonas, Streptomyces</i></p> <p><i>Aspergillus, Chaetomium, Penicillium</i></p> <p><i>Cladosporium, Trichoderma</i></p>	<p>- schimbări în caracteristicile fizice și chimice.</p> <p>- pete; - pigmentații; - schimbări în caracteristicile fizice și chimice.</p>
<p><b>Bacterii autotrofe</b></p> <p><b>Bacterii heterotrofe</b></p> <p><b>Cyanobacteria</b></p> <p><b>Chlorophyceae</b></p> <p><b>Fungi</b></p> <p><b>Licheni</b></p>	<p style="text-align: center;"><u>Piatra</u></p> <p><i>Thiobacillus, Desulfovibrio, Nitrosomonas, Nitrosovibrio, Nitrobacter, Nitrospira,</i></p> <p><i>Bacillus, Nocardia, Streptomyces</i></p> <p><i>Chroococcus, Gloeocapsa, Lyngbya, Nostoc, Oscillatoria, Scytonema</i></p> <p><i>Chlorella, Chlorococcum Haematococcus, Scenedesmus, Stichococcus, Ulothrix</i></p> <p><i>Cladosporium, Alternaria, Aspergillus, Penicillium, Phoma, Stachybotrys</i></p> <p><i>Acarospora, Aspicilia, Caloplaca, Candelariella, Diploschistes, Lecanora, Lecidea, Verrucaria,</i></p>	<p>- cruste negre; - patine; - exfolieri; - pulverizări.</p> <p>- cruste negre; - patine; - exfolieri; - pulverizări.</p> <p>- patine; - filme biologice de diferite culori și constante.</p> <p>- patine; - pete; - gropițe; - încrustări;</p>

<p><b>Mușchi și plante superioare</b></p>	<p><i>Xanthoria</i></p> <p><i>Eurhynchium, Eucladium, Parietaria</i></p> <p><i>Hedera, Cymbalaria, Sonchus, Antirrhinum, Ailanthus, Ulmus</i></p>	<p>- exfolieri; - scobituri.</p> <p>- încrustații; - eroziuni; - fracturări; - detașări.</p>
<p><b>Eubacterii</b></p> <p><b>Actinomycete</b></p> <p><b>Fungi</b> Ascomycete</p> <p>Zygomycete</p> <p>Deuteromycete</p> <p><b>Licheni</b></p>	<p><u>Sticla</u></p> <p><i>Bacillus</i></p> <p><i>Micropolyspora, Thermoactinomyces, Streptomyces, Saccharomonospora</i></p> <p><i>Alternaria, Penicillium, Humicola, Hypoxylon, Scopulariopsis, Monilinia</i></p> <p><i>Mucor</i></p> <p><i>Cladosporium</i></p> <p><i>Diploicia, Pertusaria, Leporia, Verrucaria</i></p>	<p>- eroziuni; - opacifieri; - patine.</p> <p>- eroziuni; - încrustații; - scobituri; - opacifieri.</p>
<p><b>Eubacterii</b></p> <p><b>Fungi</b></p>	<p><u>Cauciuc</u></p> <p><i>Actinomyces, Micrococcus, Proactinomyces, Micromonospora, Mycobacterium, Pseudomonas</i></p> <p><i>Aspergillus, Penicillium</i></p>	<p>- pete albe, roșii, albastre sau negre.</p>
<p><b>Bacterii</b></p>	<p><u>Vopsele</u></p> <p><i>Alcaligenes, Bacillus, Flavobacterium, Micrococcus</i></p>	<p>- decolorări; - producere de gaze; - modificarea</p>

<b>Fungi</b>	<i>Alternaria, Aspergillus, Cladosporium, Cephalosporium, Helminthosporium, Pullularia, Phoma, Paecilomyces</i>	proprietăților fizice și chimice. - desprinderi de substrat; - formare de vezicule; - decolorări.
--------------	---	--



## Picturile și biodeteriorarea lor

Componentele organice și minerale ale picturilor reprezintă surse de hrănire și de energie pentru numeroase microorganisme autotrofe și heterotrofe. Mediul nutritiv este asigurat atât de tipul culorilor (pe bază de ulei, culori tempera sau culori de apă), cât și de natura suportului (hârtie, pânză, lemn, pergament, piele, stofe etc.) și de lianți și alți ingrediente cu care vopsele sunt combinate. Desigur că un rol important îl prezintă și tehnica de lucru. Bacteriile și fungii găsesc pe suprafața picturilor multiple substanțe naturale nutritive: uleiuri vegetale, pigmenti, acizi grași, glicerol, gume (pastel), caseină și clei cu agenți de legare, proteine, trigliceride și multe alte substanțe care aderă la suprafață făcând parte din ceea ce numim murdărie. Desigur că natura suportului pictural prezintă o importanță primordială. Apar diferențe esențiale între suporturile de lemn, piele, hârtie, pergament, sticlă sau metal.

Însămânțarea picturilor cu spori de bacterii, de fungi, cu alte alge sau cu alte tipuri de microorganisme se realizează ușor datorită conținutului microbial al aerului.

Mecanismul deteriorării microbiene depinde în mod esențial de natura agenților biodeterioratori, care pot atât suportul cât și stratul de vopsea. Microorganismele heterotrofe care se fixează la suprafața picturilor pot pătrunde în profunzimea substratului prin formarea de prelungiri celulare (hife, micelii, rizoizi etc.) care se răspândesc atât în stratul pictural cât și în suport. Pătrunderea prelungirilor celulare este mult facilitată de sinteza și eliberarea unor enzime extracelulare care cauzează deteriorarea obiectului (decolorarea, virarea culorilor, crăparea și desprinderea stratului pictural, degradarea suportului).

Atât fungii cât și bacteriile pot produce unele secreții care pătează picturile. Petele care apar ca urmare a activității fungice sunt imposibil de eliminat de pe suprafața picturilor.

Cercetările au demonstrat că fungii pot folosi substanțele organice și minerale din praful depus la suprafața picturilor și contribuie astfel la fixarea și consolidarea acestuia.

Microorganismele autotrofe (bacterii, alge) se fixează pe picturile murale folosindu-le ca substrat nutritiv mai ales atunci când umiditatea este ridicată. Este cunoscut faptul că unele suprafețe mari de tencuială sunt acoperite de alge cu o haină verde, acestea formând un biofilm cu efecte negative asupra substratului.

Efectul microorganismelor autotrofe nu se limitează doar la suprafața substratului, ci afectează și părțile mai profunde prin secreția de acizi organici (acetic, lactic, glicolic, oxalic, piruvic, succinic etc.). Acestea pot să excrete și mari cantități de acizi aminici și de glucide, care favorizează fixarea și dezvoltarea unor bacterii. În felul acesta organismele autotrofe provoacă biodegradarea picturilor murale cât și facilitează fixarea unor specii heterotrofe, care pot avea acțiuni devastatoare.

În procesul de biodeteriorare a picturilor, așa cum am mai afirmat, pe lângă vopsele și suport o importanță deosebită pot să aibă și adezivii, rășinile, lacurile și alte ingrediente folosite. În acest sens considerăm că se impune o prezentare a acestora pentru a facilita înțelegerea proceselor biodeterioratoare.

## **Elementele componente ale substratului pictural**

### **Vopselele**

Frescele, icoanele și tablourile, indiferent de structura și compoziția lor oferă o multitudine de nișe ecologice în funcție de:

- natura pigmentilor;
- calitatea și compoziția lianților;
- natura peliculogenelor (vernisiuri);
- solvenții folosiți;



- întăritori (cei mai mulți bazați pe celuloză);
- emulsificatori;
- plasticizanți.

Toate aceste substanțe sunt biodegradabile. Multă vreme s-a folosit ca liant al picturilor uleiul de in. Acum se folosesc o serie de rășini sintetice acrilice, poliuretani, etc., cu diferite grade de biodegradabilitate.

Pigmenții au compoziții chimice extrem de variate. Prin combinarea lor se obțin substraturi nutritive de calități diferite care sunt folosite de diferite specii de microorganisme. Condițiile de mediu oferite de substratul cromatic al unui tablou pot fi deosebit de variate, ceea ce favorizează în mod diferit agenții biodeterioratori, formându-se bioskene cu structuri populaționale diferite de la o pată de culoare la alta.

Substratul cromatic asigură condiții favorabile de creștere și dezvoltare a unor agenți biodeterioratori:

- nutrienții sunt bogați și diferiți în funcție de natura și calitatea pigmentilor, lianților, solvenților etc.;
- apa poate fi asigurată de compoziția substratului cromatic mai ales în cazul vopselelor bazate pe lianți care conțin apă; poate fi asigurată și de U.R. a aerului, igrasie, condensare a vaporilor de apă etc.

Oxigenul este un agent limitant, cu atât mai mult cu cât pretenția față de oxigen a microorganismelor este mai mare.

**pH-ul** variază în limite largi în substratul cromatic; în ceea ce privește pH-ul optim la care unele microorganisme acționează eficient poate varia, în funcție de specie între valori cuprinse între 3,5 și 10. Bacteriile și funghi au un optim de creștere la un pH cuprins între 4 și 6, iar algele și lichenii între 7-9, deci un pH alcalin.

Se pare că bacteriile sunt primele microorganisme care se fixează pe substratul cromatic al tablourilor formând un film biologic cu structuri ce pot varia în mare măsură de la o pată cromatică la alta.

Bacteriile pregătesc substratul cromatic pentru fixarea unor specii de fungi. Bacteriile și fungii pot fi toleranți față de unii biocizi, fiind prin aceasta colonizatori primari ai substratului cromatic.

În ceea ce privește vopselele lichide acestea oferă condiții nutritive optime pentru unele specii de bacterii, levuri și macrofungi. Fungii aderă cu ușurință la suprafața vopselelor lichide.

Fixarea fungilor este dependentă atât de natura substratului cât și de capacitatea acestuia de a reține apa. Dacă fibrele organice, tencuiala, zidăria și materialele plastice pot fi colonizate cu succes de fungi, sticla, ceramica, metalele sunt rezistente; doar în cazul unor contaminări masive cedează. Lemnul reprezintă substratul preferat de fungi.

Unele specii aparținând genurilor *Aureobasidium*, *Cladosporium*, *Diplodia*, *Sclerophoma* și *Stemphylium* invadează lemnul înaintea aplicării vopselelor. Fungii care degradează lemnul afectează și lemnul pictat determinând disrupția și dezintegrarea peliculei cromatice pe măsură.

Fungii sunt capabili să invadeze pelicula cromatică a picturilor atât de la exterior cât și de la interior atât a celor pictate pe bază de apă, cât și a celor pe bază de ulei, dacă există suficientă umiditate.

Dacă bacteriile realizează colonizarea inițială a picturilor exterioare, pentru cele interioare mucegaiurile reprezintă pericolul esențial; mai ales speciile de *Penicillium*, *Aspergillus*, *Alternaria*, *Cladosporium* și *Stemphyllum*.

### **Adezivii naturali**

Adezivii naturali au fost folosiți din cele mai vechi timpuri în artă și în activitățile practice. Egiptenii foloseau unii adezivi naturali pentru lipirea unor piese: gumă arabică, albuș de ou, rășini de copaci (cleiuri), latexul unor plante etc. Romanii aplicau foițele de aur pe hârtie folosind albușul de ou.

În urmă cu mai bine de 2000 de ani se foloseau deja cleiuri de oase (oase de la diferite animale, coarne de cerb etc.). Se foloseau

cleiurile animale la realizarea mobilierului. Se pare că prima fabricare pe cale industrială a cleiului de oase s-a realizat în 1814.

Cauciucul a fost folosit în Europa, pentru prima dată, ca adeziv natural în 1823. Treptat a fost folosit și latexul secretat de unele plante ierboase. La începutul secolului al XX-lea a început folosirea pe scară largă a unor adezivi vegetali; **tapioca** a fost folosită în realizarea placajelor. Este extrasă din manioc.

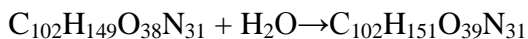
Abia în a doua jumătate a secolului al XX-lea au început să se fabrice unii adezivi pe cale industrială.

**Cleiul de oase** se bazează pe proprietățile adezive ale colagenului. Capacitatea de gelificare are la bază caracterul ionic și polaritatea radicalilor hidrocarbonați.

Cleiurile animale sunt insolubile în solvenți organici, în schimb sunt solubile în apă, ceea ce prezintă un avantaj în utilizarea lor. Solubilitatea este asigurată de aminoacizii constituenți. Gradul de solubilizare depinde însă de conținutul în apă și de plastifiantii folosiți.

Cleiul de oase este amorf și are o vâscozitate ce variază între 70.000 – 100.000 C.P.

Având la bază colagenul, cleiurile animale ar deriva din proteine după relația:



Cleiul de oase este folosit pe scară largă în industria textilă, a hârtiei, în tâmplărie etc.

**Cleiul de pește** se fabrică din piele de pești, dar se poate obține și din oase; cel mai bun clei de pești este cel obținut din vezica înotătoare a sturionilor. Pieile prelevate de la pești se fierb, apoi se filtrează zeama rezultată pentru a înlătura impuritățile. Zeama obținută se concentrează prin încălzire și evaporare până rămâne circa 45% din volumul inițial. După evaporare se adaugă un deodorant pentru a acoperi mirosul neplăcut și greoi, apoi se adaugă și unele produse bactericide.

Cleul de pești este un adeziv lichid, fiind solubil în apă, dar insolubil în solvenți organici. Este folosit ca adeziv pentru hârtie, lemn, etc. Ca și cleiul de oase are la bază colagenul, care se găsește în cantitate mare în piele, dar și în oase.

Cleiul de pește poate fi lichid sau solid, având o vâscozitate de 4000-7000 CP la 22°C. De obicei, are o culoare caramel și un miros acceptabil, în funcție de deodoranții încorporați.

### **Adezivi pe bază de amidon**

Amidonul este un polizaharid de natură vegetală; cel mai răspândit pe Terra. Se extrage din grâu, orz, cartofi, soia, tapioca etc. Amidonul industrial conține 20-30% amilază și 70-80% amilopectină.

Prepararea adezivilor pe bază de amidon se realizează prin diferite procedee:

- se poate folosi amidon ars sau gelatinat ca agent de suspensie pentru amidonul brut;
- se poate realiza un produs adeziv pe bază de amidon în care se include și o rășină dizolvată în apă pentru condensare.

### **Cleiul de cazeină**

Cazeina este un produs organic obținut din lapte. Este izolată din smântână, prin acidularea laptelui până la un pH de 4,5.

Este o proteină formată dintr-un număr mare de aminoacizi.

### **Proprietățile adezivilor**

Pentru a putea fi folosite în operele de artă materialele adezive trebuie să aibă unele calități, pentru a nu afecta obiectele conservate. Adezivii nu sunt simple substanțe ci, în mod obișnuit, sunt în combinație cu unii aditivi care au proprietăți fizice și chimice diferite.

Având o structură macromoleculară adezivii sunt sensibili la combinarea cu diferiți solvenți și la o agitație susținută. Agitația de durată poate determina scăderea vâscozității.

Adezivii au o structură vâscoelastică, fiind în același timp și elastici și cu vâscozitate. În funcție de vâscozitatea adezivilor se poate realiza grosimea peliculei. Cu cât grosimea peliculei este mai mare, cu

atât crește pericolul formării unui număr mai mare de bule, cu efect negativ în adeziune.

O altă calitate a adezivilor este timpul de viață. Este neplăcut și chiar periculos să folosești adezivi cu o viață scurtă, deoarece pun în pericol obiectul de artă sau documentul istoric tratat. De aceea este bine să se cunoască durata maximă pe care o are un adeziv în condiții controlate de temperatură și umiditate. Când punem problema duratei ne gândim atât la durata de timp care a trecut din momentul fabricării adezivului până la utilizarea lui, cât și aceea de rezistență în pelicula adezivă pe care o formează.

În ceea ce privește sensibilitatea la căldură este știut faptul că unii adezivi sunt sensibili la temperaturi joase pierzându-și și unele proprietăți; pierderea este reversibilă, adezivul recăpătându-și calitățile printr-o ușoară încălzire. O astfel de sensibilitate poate fi dată de sistemul adeziv solvent. Adezivii care au apa ca solvent pot suferi unele disfuncționalități la temperatura de 4°C. Poate avea loc o separare a celor două componente, care poate fi depășită prin agitare și prin ridicarea temperaturii. Adezivii de calitate nu-și pierd proprietățile chiar dacă astfel de procese se repetă.

Este bine ca adezivii să fie păstrați în recipientele originale bine închise și ferite de variații mari de temperatură. De asemenea, este bine ca înainte de a fi folosit un adeziv să se verifice calitățile acestuia în mod experimental. În aceste experimente să se țină cont de temperatura apropiată de cea în care adezivul va fi funcțional.

Pentru adezivi există un așa-numit **timp de serviciu**, care este bine să fie cunoscut: este vorba de timpul care se scurge din momentul în care acesta a fost preparat și poate fi folosit și timpul în care nu mai poate fi utilizat.

Adezivii au o anumită capacitate de acoperire, prin care înțelegem calitatea de a fi dispuși uniform pe suprafața de lipit. Această capacitate se exprimă în g/cm<sup>2</sup>. Trebuie să se țină cont dacă adezivul se aplică printr-o singură dispersie sau mai multe fără a depăși cantitatea

necesară pentru fiecare cm<sup>2</sup>. Capacitatea de penetrare a unui adeziv este foarte importantă, mai ales în cazul unor substraturi fără porozități.

Cea mai importantă calitate a unui adeziv este capacitatea de adeziune. În funcție de aceasta se realizează scopul urmărit.

Adezivitatea este influențată de mai mulți factori: temperatura, grosimea peliculei și timpul de la aplicarea acesteia.

Este necesar să fie cunoscută și așa-numita **adezivitate** uscată sau **autoadezivitate**, adică acea capacitate a adezivilor dispuși în pelicule de a se uni cu ei înșiși.

Este obligatoriu să se cunoască viteza de tractare a adezivilor, care este timpul cel mai favorabil de a realiza lipirea după aplicarea peliculei de adeziv. Este necesar să treacă un anumit timp de la aplicarea peliculei pentru a se realiza întărirea acesteia. Se consideră că o importanță deosebită pentru reușirea îmbinării o poate avea formarea unor cristale și creșterea acestora.

## Lacul oriental

Încă din antichitate au fost folosite lacurile naturale datorită rezistenței și frumuseții lor. Foarte multe obiecte de artă confecționate din lemn, os, fildeș erau acoperite cu lacuri de diferite culori și străluciri. În China încă din 4000 î.H. se foloseau lacurile; erau lăcuite unele obiecte decorative mici, mari și chiar clădiri întregi.

Lacul oriental este un polimer natural obținut din seva unor plante. În China și Japonia lacul oriental este obținut din seva de *Rhus verniciflua*, dar și din alte specii: *Rhus ambigua*, *Rhus succedanea*, *Melanorrhoea laccifera*, *Melanorrhoea usitata* și *Senecarpus vernicifera*. În funcție de speciile de plante din care erau obținute lacurile aveau calități diferite. Calitățile lacurilor depind nu numai de speciile de plante din care se extrag ci și de vârsta acestora și de perioada din timpul anului când se fac recoltări. Luciul, consistența, claritatea, durabilitatea acestora este diferită. Seva acestor arbori poate fi tratată cu diferite substanțe pentru a obține un luciul mai mare sau

culori diferite: camfor, ulei de perilla, oxizi, pigmenți de culori diferite etc.

Uneori lacurile se amestecă cu praf de argilă pentru a căpăta o anumită consistență în vederea modelării artistice.

Lacul se aplică pe diferite suporturi organice și anorganice: piele, hârtie, lemn, os, cochilii, fildeș, metale, ceramică etc.

În prepararea lacurilor se pot folosi diferiți aditivi (oxidul roșu de fier, uleiuri) pentru a influența viteza polimerizării.

Prin natura lor biologică lacurile naturale pot servi ca substrat nutritiv pentru foarte multe specii de microbiote (bacterii, alge, ciuperci).

Deteriorarea stratului de lac (crăpare, coroziune, spargere, încrețire) se poate datora și unor factori fizici: temperatura, umiditate ridicată, vibrații etc.

## Rășinile

Naturale sau sintetice, rășinile sunt folosite mult în protejarea picturilor, sculpturilor, mobilierului etc.

Rășinile naturale sunt soluții ale rășinilor arborilor în solvenți organici, alcool sau vernisuri ale uleiurilor esențiale.

**Șerlacul** a fost și este folosit și astăzi în industria mobilei.

Vernisurile de uleiuri sicative formează punți de legătură la oxidare și sunt greu de înlăturat. Vernisurile cu white spirit conțin rășină, damar sau gumă mastic și sunt folosite în pictură.

Peliculele de rășini naturale își pierd, prin oxidare, proprietățile inițiale, se îngălbenesc și se fragilizează. Este cunoscut faptul că peliculele de damar se degradează prin oxidare fotochimică și sub influența temperaturii.

Degradările vernisurilor din rășini naturale pun mari probleme în ceea ce privește conservarea operelor de artă, fiind necesară înlăturarea lor atunci când sunt deteriorate. Înlăturarea se poate realiza cu solvenți

organici, însă aceștia pot provoca unele neajunsuri cum ar fi umflarea și eliminarea mediurilor de legătură. În ultimul timp se folosește HALS- ul ca stabilizator pentru vernisuri.

### **Rășinile sintetice**

În ultimul secol s-au folosit ca vernisuri rășini sintetice, înlocuind pe cele naturale.

**Rășinile cetonice** sunt bazate pe ciclohexanonă (ciclohexanonă, metilciclohexanonă), la care se adaugă și unii plastifianți.

Sub diferite denumiri (rășină cetonică N, AW<sub>2</sub>, MS<sub>2</sub>, BASF, Laropol 80) rășinile sunt folosite în conservarea bunurilor de patrimoniu. Conținând un număr mare de grupări atomice acestea își pot pierde solubilitatea în solvenți nepolari, devin sfărâncioase și mate. Mai stabili sunt unii produși cetonici cum ar fi MS<sub>2</sub>A, rășinile hidrocarbonice hidrogenate și cele aldehydice de tipul MW.

Rășinile hidrogenate hidrocarbonice sunt izomeri ai hidrocarburilor ciclice, cu greutate moleculară cuprinsă între 350-800.

Rășinile aldehydice sunt produși de condensare a ureei și ai aldehydelor cu greutate mică.

Rășina LMW este folosită în vernisurile de picturi și în conservare. Straturile de LMW se pot elimina destul de ușor cu solvenți organici atunci când se degradează.

**Rășinile polimerice** sunt folosite pe larg în conservarea bunurilor de patrimoniu. În această categorie încadrăm unii metacriilați și PVAC-ul.

La peliculizarea metalelor se folosește nitratul de celuloză. Acesta aderă ușor la suprafața metalelor și are un timp de uscare mic. În ciuda instabilității sale este un produs mult folosit.

Unii copolimeri vinilici (acrilonitriți PVAC) sunt folosiți pe scară largă pentru protejarea împotriva umidității la unele obiecte confecționate din lemn, fildeș și os. Totuși, fiind un polimer cu instabilitate ridicată este nepotrivit ca înveliș protector.



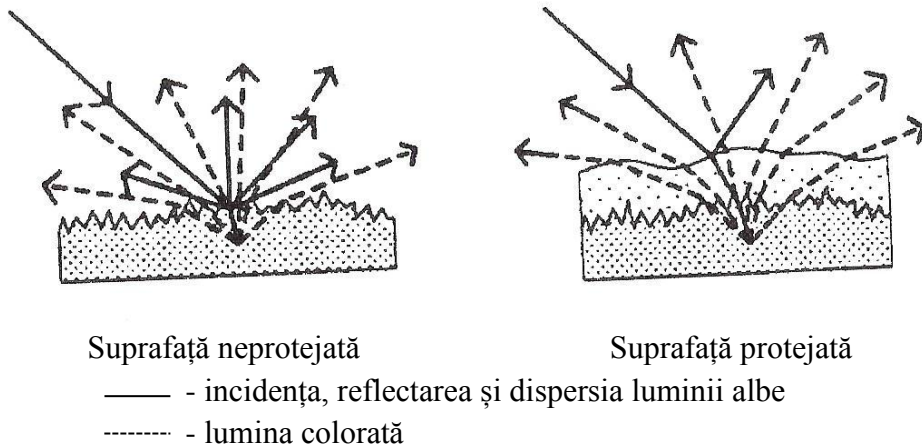
Rășinile polimerice sunt folosite, în ultimul timp, împreună cu unii ingrediente în pelicologenele din industrie, chiar dacă apar unele efecte nedorite (migrația și exudația lor).

Unul dintre adezivii cu stabilitate mare este HALS-ul, fiind folosit mai ales în conservare.

În conservarea bunurilor de patrimoniu se folosesc ca substanțe pelicologene stabile metacrilatii alchilici inferiori: PVAC-ul și HALS-ul ca stabilizatori ai damarului.

Învelișurile de tip PVAL (polivinil alcoolul) realizează o barieră gazoasă eficientă. Fiind impermeabil pentru oxigen protejează substratul împotriva degradării. Prin aceste efecte PVAL-ul reduce mult îmbătrânirea substratului.

Învelișurile protectoare au și o funcție estetică. Este cunoscut faptul că picturile vechi trebuie să fie lăcuite pentru a fi bine văzute. Aceasta deoarece părțile mai întunecate ale picturii au nevoie de lăcuire pentru a micșora împrăștierea luminii albe determinate de o suprafață cu asperități (fig .173).



**Fig.173.** Reducerea dispersiei luminii la o suprafață colorată cu asperități microscopice prin aplicarea unui înveliș clar scăzând cantitatea de lumină albă dispersată, crește saturarea culorii

Un înveliș cu LMW scăzând lumina dispersată mărește saturarea culorii din pictură.

Învelișurile protectoare sunt supuse procesului de oxidare. Acest proces este accelerat sub acțiunea umidității, a radiațiilor U.V. și poluării.

Razele U.V. inițiază procesul de autooxidare fotochimică. Procesul de degradare se realizează în pași algoritmici.

1.  $R-H + I \rightarrow R + I - H$ ;
2.  $R + O_2 \rightarrow ROO$ ;
3.  $ROO + R-H \rightarrow ROOH + R$ ;
4.  $2ROO \rightarrow ROOR + O_2$ .

R= radicali alchili;

I= radical liber inițiator;

ROO= radical peroxid;

ROOH= hidroxiperoxizi.

În reacție mai pot apare unii radicali precum: RO și OH prin ruperea hidroxiperoxizilor.

Unele învelișuri protective se opun procesului de autooxidare prin adăugarea de aditivi stabilizatori. Aceștia măresc absorbția razelor UV, determină reducerea stărilor de agitație și descompunerea hidroxiperoxizilor.

Ca absorbanți de raze U.V. pot folosiți: hidroxibenzofenonele și 2-hidroxibenzofenilbenzotriazolii.

Cei mai puternici stabilizatori folosiți sunt aminele ciclice. HALS este unul dintre cei mai puternici stabilizatori.

## Polimerii și rășinile ca sursă de hrană pentru microorganismele

Este cunoscut faptul că în consolidarea și protejarea unor monumente de piatră se folosesc diferite tipuri de polimeri sau de rășini, care se aplică sub formă de peliculă la suprafață. Metoda a fost considerată salvatoare, însă practica a demonstrat că atât polimerii cât și rășinile devin ținta atacului unor microbiote, având rol de substrat nutritiv pentru acestea. Totuși, polimerii și rășinile se folosesc pe scară largă în conservarea bunurilor de patrimoniu.

Între substanțele folosite mai mult menționăm:

- **polimeri organici sintetici:** acilați, polimetani, epoxizi, polimeri vinilici;
- **polimeri anorganici:** silicați, silicofluoride;
- **rășini naturale și ceruri;**
- **produse pe bază de silicon:** rășini siliconice, esteri silicați.

În momentul în care se procedează la conservarea obiectelor de artă prin folosirea polimerilor și a rășinilor, este necesar să se realizeze curățirea cu atenție a acestora de agenții biodeterioratori.

La suprafața obiectelor de artă sau a monumentelor se depun bacterii, fungi, alge etc., care pot pătrunde chiar în profunzime, în funcție de starea de degradare a substratului.

După cum precizează Strzelczyk (1981) sursele de contaminare pot fi:

- solul pe care se găsesc monumentele;
- praful cărat de curenții de aer;
- picăturile de ploaie, care antrenează sporii de bacterii, ciuperci, alge etc.

Krumbein (1972) a semnalat prezența unor microorganismele în interiorul unor monumente de piatră până la 50-100 cm de la suprafață. Totul este posibil; germenii agenților biodeterioratori pot pătrunde odată

cu apa infiltrată. Ținând cont de faptul că unele microbiote sunt anaerobe pot forma bioskene viabile în profunzimea monumentelor. O sursă de contaminare a unor monumente de piatră sau/și de marmură o poate constitui excrementele porumbeilor sau al altor păsări care populează habitatele în care se găsesc unele monumente. Excrementele depuse pe monumente constituie o sursă de hrană pentru microbiote și un substrat favorabil de adeziune.

Pentru a demonstra că polimerii și rășinile reprezintă surse de hrană pentru unii agenți biodeterioratori, unii specialiști au efectuat o serie de experimente.

În experimentele efectuate au fost folosite numeroase specii de fungi din genurile: *Penicillium*, *Fusarium*, *Cladosporium* și *Aspergillus*. După însămânțarea eșantioanelor de polimeri și rășini cu specii de fungi acestea au fost ținute la temperatură și umiditate constante timp de 35 de zile. În experimente au fost folosite următoarele produse:

**Prođuși siliconici:**

- Conservare H; OH;
- Conservare H<sub>40</sub>;
- Silicone 1048;
- Rhoplex AC\_234;

**Polivinilici:** Bakelite AYAT și AYAF, rășină fenolică;

**Poliamide:** Imron 1925, poliuretan;

**Rășini naturale:** Dammar, Shellac.

În primul rând s-a constatat o creștere abundentă a fungilor pe Imron 1925, Dammar, Conservare H<sub>40</sub>, Bakelite AYAT și AYAF.

O rezistență deosebită au probat Silicone 1048 și Rhoplex 234.

Instalarea și creșterea fungilor pe suprafață polimerilor și a rășinilor a provocat unele modificări: reducerea masei, decolorarea, exfolieri etc.

Rezistența unor polimeri la atacul ciupercilor a fost asigurată de introducerea unor aditivi care au proprietate biocidă.

Astfel, în Conservare H, Conservare OH, Conservare H<sub>40</sub> și Tegovakon a fost folosit ca aditiv biocid dibutildilaureatul;

Rhoplex\_234 conține formaldehida, iar Bakelite AYAC acid acetic. Experimentele au demonstrat că atât polimerii cât și rășinile servesc ca substraturi nutritive pentru fungi și alte microbiote (bacterii, alge). Substratul nutritiv poate fi folosit și de microbiotele care se fixează pe pelicula de protecție.

Experimentele au scos în evidență faptul că Bakelite AYAC a fost degradată complet în două săptămâni; Conservare H<sub>40</sub>, Acryloid F-10, Imron 1925 și Dammar au o rezistență slabă, iar Bakelite AYAC și Tegovakon sunt rezistente.

Aceste aspecte sunt necesare cunoașterii specialiștilor care se ocupă de conservarea bunurilor de patrimoniu.

Rincón et. al (2011) au demonstrat că unele subspecii de *Phanerochaete chrysosporina* (Bazidiomicete lignicole) au capacitatea de a biodegrada bakelita. Ca urmare a atacului materialul a pierdut 25% din greutate; s-au format unii compuși fenolici și O-hidroxifenil, s-a redus duritatea și au apărut unele fisuri.<sup>52</sup>

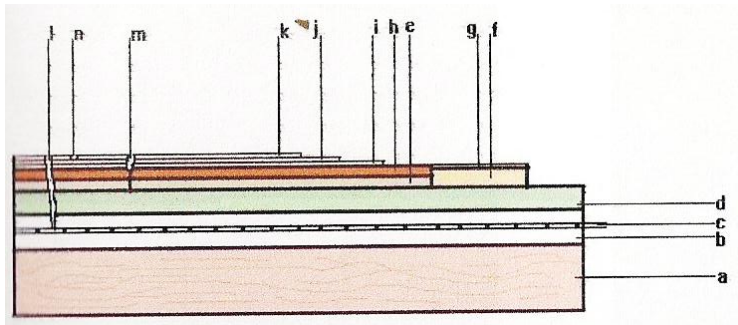
## Degradarea stratului pictural

Stratul pictural al tablourilor se poate deteriora în timp sub acțiunea factorilor de mediu, în funcție de compoziția acestuia, de natura pigmentilor și de tehnicile picturale folosite. Pentru a înțelege mai bine natura deteriorărilor stratului pictural trebuie să pornim de la structura acestuia.

Stratul pictural este fixat pe un suport, care poate fi format din lemn, carton, pânză etc. Urmează stratul sau straturile de grund, peste care sunt dispuse straturile de culoare, iar la suprafață se găsește pelicula de vernis (fig.174).

---

<sup>52</sup> Rincón Juan Jóouregni, Gabrielle Ponce Andrade, Rafael Vázquez Dubolt, Refugio Rodriguez Vázquez, 2011, *Biodegradacion de Bakelita B. Adusta 7308*, Unidad de Estudios Avanzados Ciudad Universitat.



**Fig. 174.** Secțiunea stratului pictural înainte de restaurare  
(după Knut Nicolaus, 1999)

- a) suportul
- b) grundul
- c) pânză între straturile de grund
- d) strat de grund colorat
- e) eboșă
- f) adeziv
- g) foiță de aur
- h) strat de culoare locală
- i) ultimul strat pictural cu detalii și glasiuri
- j) verni colorat
- k) verni
- l) cracluri în stratul pictural și grund
- m) cracluri în stratul pictural
- n) cracluri în verni

Knut (1999) face o clasificare a desprinderilor în funcție de poziția lor:

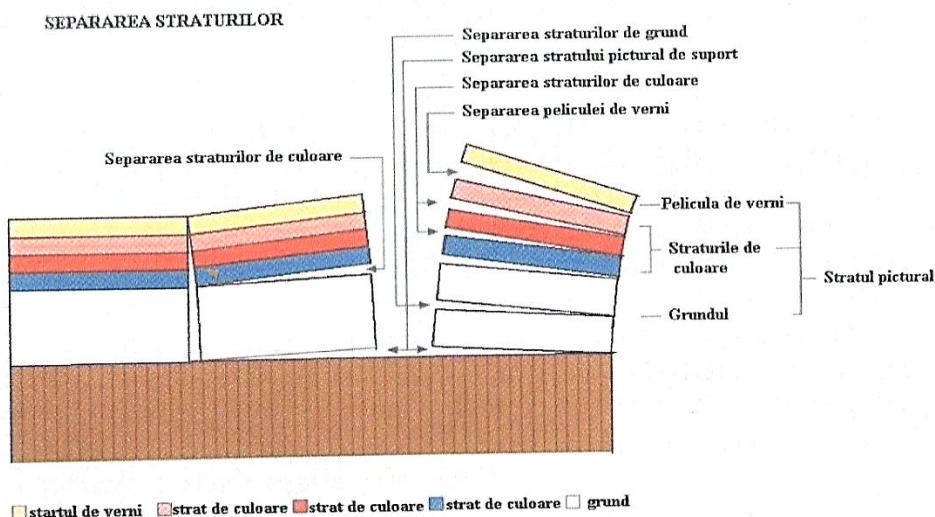
- desprinderea stratului pictural de pe suport;
- desprinderi ale straturilor de culoare de pe grund;
- desprinderea straturilor de grund;
- separarea straturilor de culoare;
- separarea stratului de vernis de straturile de culoare.

Desprinderile stratului pictural pot apărea ca urmare a:

- deformările lemnului determinate de variația U.R. și a temperaturii;
- de folosirea incorectă a tehnicilor picturale;

- îmbătrânirea structurilor adezive;
- atacul unor microorganisme;
- vibrații mecanice.

În fig.175 putem urmări tipurile de desprinderi ale stratului pictural.



**Fig.175.** Desprinderile stratului pictural (după Knut Nicolaus, 1999)

Deși pare stabil lemnul poate suferi unele dilatări sau contractări determinate de variațiile termice și ale U.R. Dacă stratul pictural are o anumită elasticitate poate urma aceste variații sau se poate desprinde; este vorba de echilibrul dintre modificările dimensionale și de formă ale suportului și de gradul de elasticitate al stratului pictural și de o anumită capacitate de adaptabilitate.

De obicei când un tablou sau o icoană stau mult timp într-un mediu mai mult sau mai puțin constant atunci în componentele stratului pictural se produc modificări foarte mici. În situația în care acestea sunt mutate dintr-un loc în altul (expuse în diferite expoziții) variațiile bruște

ale mediului pot provoca diferite tipuri de desprinderi ale stratului pictural de suport, de grund sau între straturile de culoare.

Așa-zisa stare de sănătate a stratului pictural se poate constata și prin pipăirea sau percuția acestuia. Dacă au avut loc unele desprinderi de substrat pot fi percepute astfel, chiar dacă nu sunt descoperite desprinderi „oarbe”. În stadiile incipiente desprinderile se pot descoperi cu greutate. În cazuri grave desprinderea poate provoca fisurarea stratului pictural și deformarea (decalarea) acestuia (fig.176).



**Fig. 176.** Desprinderea stratului pictural pe lemn (foto Moșneagu M.)

Când substratul lemnos se micșorează are loc desprinderea stratului pictural și decalarea lui, căpătând aspectul unui acoperiș în două ape (fig.177). Poate avea loc exfolierea stratului pictural sub forma unor solzi sau chiar pulbere, ca urmare a alterării liantului sau ca urmare a comportamentului diferit al unor straturi ale picturii. Nu întotdeauna desprinderile oarbe sunt între stratul pictural și suport; se pot forma și între două straturi ale picturii. Pot apărea și unele punji false, care sunt determinate de atacul unor insecte xilofage (carii) (fig.178 și 179). De asemenea, temperaturile ridicate pot provoca diferite tipuri de



desprinderi. Acestea pot apare între vernis și stratul de culoare, între grund și pelicula de culoare, sau între straturile de culoare. Umflăturile dintre grund și stratul de culoare pot genera cracluri de diferite dimensiuni (fig.180).



**Fig. 177.** Desprinderea sub formă de acoperiș a stratului pictural (foto Moșneagu M.)



**Fig. 178.** Desprinderi ale stratului pictural determinate de insecte xilofage (foto Moșneagu M.)



**Fig. 179.** Desprinderi ale stratului pictural determinate de atacul unor anobiidae (foto Moșneagu M.)

Deformările provocate de temperatură depind de intensitatea temperaturii și de timpul de acțiune. Lămpile care luminează muzeul sau lumânările aprinse din apropierea icoanelor determină adesea degradarea stratului pictural și apariția de vezicații. De obicei în incendii se produc tot felul de degradări, mai mult sau mai puțin grave. Temperatura ridicată provoacă o topire termoplastică atât a vernisului cât și a stratului pictural. Se produce o fisiune pirolitică a stratului pictural. De asemenea, ca urmare a temperaturii ridicate, lianții (rășini, cleiuri vegetale sau animale, uleiuri etc.) se descompun și formează acizi organici și gaze; la temperaturi foarte ridicate se produce chiar carbonizarea stratului pictural (în timpul incendiilor).

S-a constatat că picturile pe bază de apă reacționează mai puțin decât cele pe bază de uleiuri la temperaturi de până la 250°C. Rășinile acrilice sunt rezistente și la temperaturi mai ridicate.

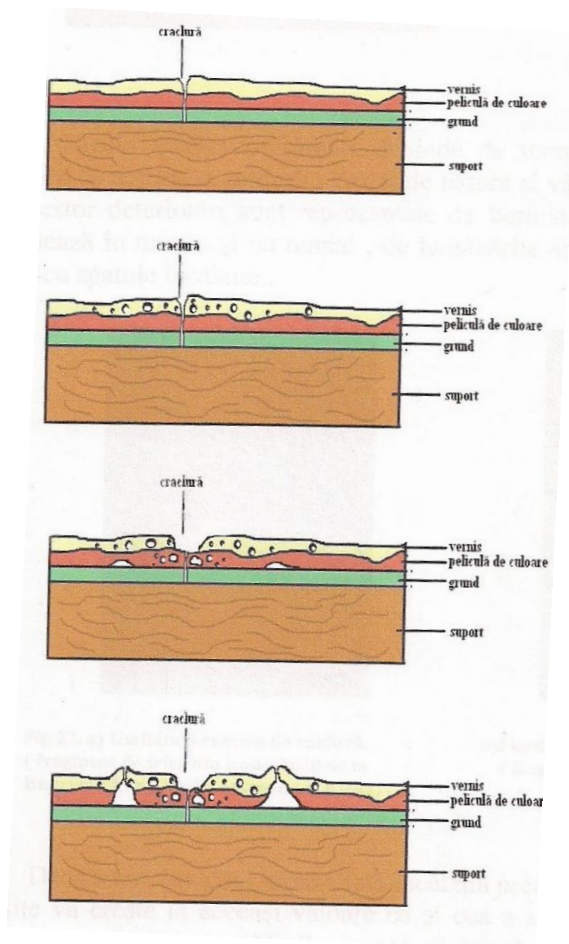
Reacția culorilor la temperaturi ridicate este diferită: culorile tempera se îngălbenesc, iar cele pe bază de uleiuri se brunifică.

Pigmenții răspund, de asemenea, în mod diferit:

- galbenul ocru capătă nuanțe brun sau roșii;
- galbenul de oxid de fier se transformă în oxid roșu de fier la temperaturi de peste 800 °C;
- albul de plumb se îngălbenește la temperaturi mai mari de 80°C.

### **Degradări ale peliculei de protecție**

După finalizarea picturilor se procedează la vernisarea lor pentru protecție împotriva depunerilor aderente și a efectelor luminii. Prin aplicarea stratului de vernis se acoperă neregularitățile stratului pictural, ceea ce are ca efect modificarea unghiului de refracție. Prin saturarea culorilor pot fi sesizate și cele mai mici detalii din zonele întunecate ale picturii.



**Fig. 180.** Degradarea stratului pictural datorită temperaturilor ridicate – formarea vezicațiilor (după K. Nicolaus, 1998)

Stratul de vernis asigură un luciu, care depinde atât de tipul de vernis cât și de neregularitățile stratului pictural, precum și de grosime și de metoda de aplicare. Dacă stratul de vernis este format din rășini ușoare, care au o vâscozitate mică, vor conține mai puțin solvent, iar uscarea solventului va afecta mai puțin calitatea tabloului. Dacă se folosesc rășini cu vâscozitate mare, cum sunt rășinile policiclohexamice,

va fi necesară o cantitate mai mare de solvent. Prin evaporarea solventului vernisul cu vâscozitate ridicată se contractă; ca urmare impresia de profunzime este afectată de lumina refractată de la granița dintre vernis și stratul pictural.

Impresia de profunzime este dată de contactul dintre stratul de culoare și stratul de vernis; cu cât stratul de vernis penetrează mai mult stratul pictural, cu atât impresia de profunzime este mai mare.

Profunzimea și strălucirea culorilor este asigurată de așa-numita **umezire** care se realizează la interfața dintre cele două straturi. Cu cât suprafața stratului pictural este mai neregulată și mai aspră cu atât umezirea este mai mare.

Calitățile optice ale vernisului depinde de mai mulți factori:

- vâscozitate;
- indice de refracție;
- puterea de penetrare;
- tehnică de aplicare.

Asemenea tuturor materialelor și stratul de vernis este supus procesului de îmbătrânire; aceasta trece prin trei faze:

- I. Prima fază începe din momentul în care stratul de vernis nu mai este lipicios atunci când este atins. Aceasta depinde de natura solvenților.
- II. Faza a doua începe din momentul în care solventul s-a evaporat; stratul de vernis nu mai suferă transformări care să-i afecteze calitatea.
- III. A treia fază începe odată cu apariția fenomenului de degradare, care se poate produce sub acțiunea factorilor de mediu, sau ca urmare a proceselor chimice de îmbătrânire care au loc în grosimea peliculei. Acest proces este de lungă durată (50-150 de ani), însă, ținând cont de faptul că numeroase opere de artă supraviețuiesc secole, degradarea stratului de vernis are o semnificație cu totul particulară pentru procesele de restaurare și conservare.

Îmbătrânirea stratului de vernis se manifestă în primul rând prin virarea culorii. În funcție de vechime aceasta poate deveni galbenă, galben-brună sau brună. De asemenea, se produce schimbarea culorii stratului pictural; dispar nuanțele fine ale culorilor și se produce gradat o uniformizare a tonurilor diferită ca valoare artistică.

Cu cât grosimea stratului de vernis este mai mare, cu atât va fi mai intensă nuanța galbenă, iar cromatica picturii va fi mai influențată, observatorul percepând culorile modificat, iar tușele fine și glasiurile vor fi estomate. Cele mai cunoscute modificări de percepție sunt perceperea albastrului ca fiind verde și perceperea albului ca fiind galben.

La suprafața stratului de vernis pot să apară unele pete de culoare închisă, asemenea unui film lăptos, format din cristale de sulfat de amoniu  $[\text{NH}_4]_2\text{SO}_4$ . Aceste pete reprezintă așa-numitul efect de „**bloom**”. Apariția efectului de **bloom** este provocată atât de lumină cât și de umiditate.

Apariția fenomenului de **bloom** este explicată în diferite moduri. Unii autori sunt de părere că este vorba de formarea unor cristale de sulfat de amoniu care pot fi șterse cu o cârpă curată și uscată. Alți autori consideră că fenomenul de **bloom** este dat de impuritățile înconjurate în stratul de vernis, care sunt eliminate la exterior, la care se pot adăuga și multe impurități din aer. Ca argument se aduce observația că vernisurile care conțin o proporție ridicată de acizi sunt mai susceptibile la apariția acestui fenomen.

Un neajuns al vernisurilor îl reprezintă fragilitatea acestora, care se poate manifesta mai repede sau târziu în funcție de natura lor. Fragilizarea este determinată de pierderea elasticității ca urmare a acțiunii unor factori externi sau interni. Între factorii externi temperatura și U.R. au un rol important, iar între cei interni natura solvenților și modul în care se realizează evaporarea lor.

Specialiștii în conservare consideră că vernisul din mastic este mai fragil decât cel din dammar, cele pe bază de rășină

poliiciclohexanonică, cum ar fi AW<sub>2</sub> capătă o fragilizare ridicată chiar la o presiune aplicată pe suprafața stratului de vernis. Fragilizarea poate fi pusă ușor în evidență în funcție de craclurile care apar.

Un alt fenomen caracteristic pentru vernisuri sau așa-numitul fenomen de **crazing**. Este vorba de apariția unor crăpături fine și foarte dese care se pot produce atât în stratul de vernis cât și în cel de culoare. Microfisurarea determină pierderea coeziunii celor două straturi. Stratul de vernis își pierde transparența și devine opac, ceea ce produce o încețoșare a tabloului.

Nu se cunoaște exact cauza apariției acestui fenomen. Totuși, Max von Pettenkofer și Radlkofer considera că este provocat de atacul unor organisme, mai ales a mușcăiștilor. Este necesar un diagnostic diferențiat.

Dacă se tratează pelicula de vernis cu un solvent se poate realiza o regenerare a acesteia și să capete din nou transparență.

## Craclurile

Craclurile sunt crăpăturile care apar în stratul pictural al unui tablou (picturi). Pot fi considerate ca dovezi ale vechimii tablourilor sau icoanelor. Trebuie însă să ținem seama că acestea sunt determinate de compoziția stratului pictural și de structura suportului (lemn, pânză).

Rețeaua de cracluri este determinată de un complex de factori: de suport, de compoziția stratului pictural, de tehnica folosită de artist și de condițiile de mediu.

Primul specialist în conservarea bunurilor de artă care s-a ocupat de elucidarea acestui fenomen a fost Theodor von Frimmel. O contribuție importantă au avut-o Bohuslav Slansky (1956), Knut Nicolaus în a sa carte *The restoration of paintings*.<sup>53</sup>

Nicolaus Knut (1999) face o clasificare a craclurilor:

---

<sup>53</sup> Knut Nicolaus, 1999, *The restoration of paintings*, Edit. Könemann.

- cracluri de vechime;
- cracluri timpurii;
- cracluri provocate.

**Craclurile timpurii** se mai numesc și cracluri de uscare. Apar în procesul de uscare a stratului pictural, fiind provocate de procese chimice și fizice.

Așa cum precizăm, apariția craclurilor se datorează unui complex de factori:

- mărirea particulelor de pigmenți;
- tipul lianților;
- compoziția grundurilor;
- tehnica de pictură.

Nicolaus Knut (1999) prezintă diferite tipuri de cracluri de uscare:

- **flame cracks** – scurte și puțin profunde, se pot forma mai ales pe tablourile în care stratul pictural a fost apăsător cu pensula după aplicarea culorilor;
- **bushstroke cracks** – care apar în zona în care stratul pictural este mai subțire, urmând direcția de pensulare a culorii; aspectul fisurilor apare oarecum pensulat;
- **net cracks** – ca o rețea neregulată de cracluri primare, secundare și terțiare;
- **grid cracks** – ca o rețea cu aspect de grilaj. Crăpăturile par a urma direcția pensulărilor.

**Craclurile de vechime** afectează stratul pictural în întregime, craclurile pornind de la grund spre suprafață. Formează o rețea densă de fisuri drepte sau curbe.

În fig.181, 182, 183, 184, 185, 186 putem pune în evidență diferite tipuri de cracluri. Pot să apară și cracluri timpurii în culoare (fig.184). Unele cracluri pot să apară după pensulație (fig.186). Se pot forma cracluri și cute între vernis și culoare (fig.187). De cele mai multe

ori craclurile pot determina tipul de desprindere a stratului pictural  
porțiuni ale picturilor, desprinderea realizându-se în diferite moduri:

- pe linia craclurilor (fig.188);
- pe direcția fibrelor lemnoase (fig.189);
- pe direcția atacului unor insecte xilofage (fig.190).



**Fig. 181.**



**Fig. 182.**

Craclarea stratului de culoare (foto Moșneagu M.)



**Fig. 183.**



**Fig. 184.**

Cracluri de vechime (foto Moșneagu M.)

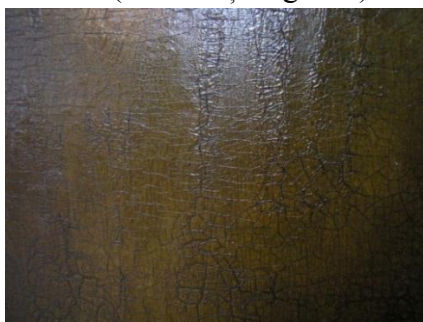




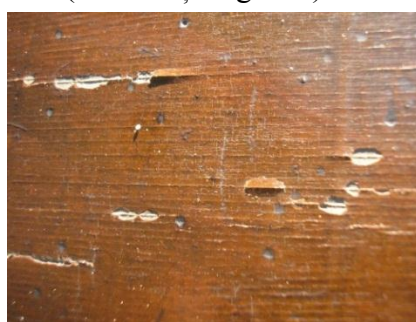
**Fig. 185.** Cracluri timpurii în culoare (foto Moșneagu M.)



**Fig. 186.** Cracluri după pensulație (foto Moșneagu M.)



**Fig. 187.** Rețele multiple de cracluri și cute în vernis și culoare (foto Moșneagu M.)



**Fig. 188.** Desprinderi ale stratului pictural realizate pe linia craclurilor (foto Moșneagu M.)



**Fig. 189.** Cracluri de-a lungul fibrei și desprinderea stratului pictural (foto Moșneagu M.)



**Fig. 190.** Desprinderi ale picturii pe linia atacului unor insecte xilofage (foto Moșneagu M.)

Craclurile pot apare ca urmare a **presiunilor mecanice provocate de factori de mediu (temperatură, UR)** și de forțele determinate de suport (lemn sau pânză) care suferă dilatări sau contracții provocate de factorii de mediu.

Este cunoscut faptul că stratul pictural poate suferi în timp, în funcție de compoziție, unele modificări fizico-chimice. Acestea se accentuează în timp provocând cracluri de vechime. Este o îmbătrânire mai mult sau mai puțin firească, nefiind provocată de intervenția omului.

Craclurile fine se accentuează în timp deoarece se măresc spațiile din stratul pictural care sunt supuse acțiunii oxigenului și a altor gaze din atmosferă. Chiar în timpul realizării picturii pot să apară micropori și microfisuri, care vor sta la baza apariției unor cracluri în timp. Microporii și microfisurile măresc suprafața de contact a stratului pictural cu gazele din atmosferă și cu umiditatea aerului.

Picturile pe suport de lemn (panou de lemn) comparativ cu picăturile pe pânză sunt mai puțin afectate ca urmare a gradului mic de elasticitate a lemnului. Esența lemnului din suport poate influența mult forma și dispoziția craclurilor, acestea fiind mai mult sau mai puțin dispuse în funcție de direcția fibrelor lemnoase. De asemenea, nodurile pot provoca cracluri cu formă specifică radială.

Craclurile fine apărute mai ales la suprafața stratului pictural pot determina o înălbire a acestuia datorită modificării indicelui de refracție. Înălbirea poate afecta în aceeași măsură atât stratul de vernis, cât și stratul de culoare.

Înălbirea este cauzată de mai mulți factori:

- umiditatea ridicată a atmosferei sau contactul direct cu apa (ex. condens);
- pierderea contactului dintre granulele de pigment și agentul de legătură (lipsa coeziunii);
- învelirea provocată de fungi (fig.191);
- încărcarea atmosferei cu gaze acide.



**Fig. 191.** Albirea picturii datorită fungilor (foto Moșneagu M.)

Este cunoscută așa-numita boală a ultramarinului. În mod obișnuit variația umidității provoacă ruperea legăturii dintre pigment și liantul de legătură. În jurul particulelor de pigment apar crăpături fine, asemănătoare unor fire de păr care schimbă refracția luminii și determină fenomenul de înălbire.

**Craclurile provocate** sunt de cele mai multe ori produse în mod artificial de unii falsificatori ai operelor de artă. Sunt provocate pentru a da patina de vechime a tablourilor.

Falsificatorii pot aplica peste stratul pictural un strat de culoare care se usucă rapid și produce apariția de cracluri. Se pot obține cracluri în tablourile recent pictate prin aplicarea unor șocuri termice și prin umezire și uscare rapidă a stratului pictural. Craclurile apar în stratul superficial aplicat în mod special pentru falsificare. Unele tablouri falsificate prezintă cracluri zgâriate în mod intenționat.

Craclurile sparte se obțin prin trecerea pânzei pictate peste o suprafață tăioasă. Crăpăturile pot fi acoperite și înnegrite cu funingine sau cu alte substanțe negre.

## Depunerile de suprafață

Este și firesc ca pe tablourile și icoanele expuse fără a fi protejate de sticlă să se depună praf, care conține tot felul de impurități organice și anorganice dar și spori de bacterii și fungi.

Depunerea de suprafață este determinată de o multitudine de factori:

- curenți de aer;
- mișcarea aerosolilor;
- termoforeza;
- forțele electrostatice;
- adeziunea;
- forța de capilaritate;
- aerul poluat.

În sălile de expoziții și în depozitele muzeelor se formează permanent curenți de aer care antrenează diferite impurități. Chiar în situația în care curenții de aer sunt foarte slabi, aproape inexistenți, aerosolii sunt mișcați ca urmare a forțelor electromagnetice și termale, de la o concentrație mai mare la una mai scăzută.

Fenomenul de termoforeză, pe care l-am prezentat în paginile anterioare, determinat de diferența de temperatură dintre diferite zone ale încăperilor, are o importanță semnificativă în creșterea depozitelor de praf.

Forțele electrostatice sunt deosebit de importante în atragerea și reținerea aerosolilor. În condiții de umiditate redusă o încărcare electrostatică puternică atrage particulele de praf. Mai mult, o încărcare electrostatică puternică nu numai că atrage praful, dar îl și reține, adesea fiind greu de îndepărtat.

Puterea de adeziune este determinată, de suprafața de contact. Cu cât o particulă de praf este mai aproape de suprafața picturii cu atât este mai puternic atașată de ea.

Murdăria se datorează în primul rând modului neglijent de păstrare și de protecție a picturilor. Așa cum am precizat, sunt cauze multiple.



**Fig. 192.** Murdărie aderentă la pictură (foto Moșneagu M.)

Murdăria prin depunerea stratificată a prafului, fumului, grăsimilor etc. În fig. 168 murdăria este rezultatul manipulării frecvente cu mâinile mudare.



**Fig. 193.** Murdărie grasă aderentă (foto Moșneagu M.)

Forța de capilaritate apărută la suprafața picturii are o semnificație deosebită în atragerea și reținerea particulelor de praf. Este

vorba de condensatja capilară, care poate avea loc în condiții de umiditate cuprinse între 50 – 65% și mai mult.

Fenomenul de adeziune este deosebit de complex, dacă ținem seama de faptul că aceleași forțe moleculare care determină coeziunea internă a moleculelor (forțele polare dipol-dipol, legăturile de hidrogen, forțele de dispersie) au efect și la adeziunea aerosolilor la suprafața picturii.

Cu cât aerul este mai poluat, cu atât depunerea prafului se realizează mai rapid. Este vorba de o încărcare puternică a aerului cu diferite tipuri de substanțe care intră în interacțiune.

La murdărirea picturilor contribuie, de asemenea, în mare măsură, persistența reziduurilor de la restaurările anterioare. Este vorba de unele fibre de vată, de solvenți reziduali și de amprente lăsate. Ampretele pot avea adesea valoarea unor însămânțări cu microorganisme, care sunt fixate și reținute într-un mediu mai mult sau mai puțin nutritiv. În cazul frescelor pot apare rareori fenomenul de eflorescență determinat de igrasie. Eflorescențele și igrasia sunt însoțite, de cele mai multe ori de fixarea și dezvoltarea mucegaiurilor.

Praful este legat de picturi ca urmare a forței de atracție, care se realizează la suprafața de contact. Când folosim noțiunea de praf nu ne gândim doar la particulele minerale, ci la toate substanțele care pot fi antrenate de curenți de aer; microbiotele sunt prezente sub formă de spori sau de celule viabile (bacterii, funghi, alge).

Unele particule de praf sunt foarte mici, de dimensiuni microscopice, cuprinse între 0,01 și 100 μm. Altele sunt mai mari, dar se mențin în aer în funcție de greutatea specifică. Aerul poate fi încărcat cu fum (de la lumânări sau candelă), cu particule grase, care interacționează cu stratul de vernis.

Murdărirea poate proveni și de la excrementele depuse de insecte, chiar de păsări, la biserici și mari catedrale. Pot apare exuvii de insecte etc. ceea ce facilitează fixarea unor microorganisme și asigurarea unui mediu de creștere și dezvoltare.

## **Factorii biotici care atacă picturile provocând fenomene de biodeteriorare**

Factorii biotici sunt omniprezenți chiar și în condiții de maximă protecție. Pentru a provoca procese de biodeteriorare trebuie însă să aibă măcar un minim de condiții de existență. Microorganismele (bacterii, fungi) pot fi sub formă de spori, unii dintre ei în stare de anabioză. Între factorii biotici trebuie să luăm în considerație și unele insecte, diferite specii de rozătoare și chiar și omul.

Microorganismele determină apariția unor procese de biodeteriorare care pot fi generate de asimilație și/sau dezasimilație. În fenomenele de asimilație substratul este folosit ca substrat nutritiv, iar în cele de dezasimilație procesul de degradare este provocat de substanțele provenite din metabolism, având loc o biocoroziune.

Stratul pictural al tablourilor și al icoanelor oferă o multitudine de nișe spațiale cu condiții de viață diferite, în funcție de natura pigmentilor folosiți, de lianți, vernis etc.

Cele mai periculoase microorganisme biodeterioratoare sunt bacteriile saprofite și fungii. Acestea au un aparat enzimatic bogat prin care reușesc să descompună substratul și să-l folosească în asimilație. Cercetările au dovedit că cele mai dispuse la atacul unor microorganisme sunt culorile tempera, dar sunt atacate și uleiurile și chiar rășinile artificiale. În multe cazuri liantul este preferat de unele specii de microorganisme. Înainte se folosea uleiul de in sau alte uleiuri vegetale, care erau foarte vulnerabile la atacul microbiotei. Acum sunt folosite rășini sintetice, acrilice etc., care prezintă grade diferite de sensibilitate la atacul microbial.

În ceea ce privește pigmentii, unii dintre ei nu sunt biodegradabili. Însă unii pigmenti organici și coloranți sunt biodegradabili atunci când sunt folosiți ca pastă sau ca pudră uscată.

Chiar unii pigmenți care conțin minerale sunt vulnerabili deoarece multe microorganisme pot realiza conversia lor.

Picturile care sunt realizate pe substrat lemnos sunt supuse atacului agenților biodeteriorator care sunt specializați fie pentru atacul lemnului, fie pentru atacul substratului pictural. Lemnul poate fi atacat de *Serpula lacrymans*, *Phoma pigmentivora*, *Coniophora cerebella* etc., care afectează și stratul pictural, determinând detașarea peliculelor suprapuse. Lemnul atacat de ciuperci este preferat de unele specii de insecte xilofage (*Anobius pertinax*, *A. punctatum*, *Xestobium rufovillosum* etc.). Stratul pictural de pe lemn este atacat de specii de *Penicillium*, *Aspergillus*, *Chaetomium* etc.

Cercetările recente au demonstrat că picturile care conțin pigmenți cu metale grele (alb de plumb, oxid de zinc, galben de crom) sunt mai rezistente la atacul fungilor. Asta nu înseamnă că acești pigmenți nu sunt atacați. În cazul pigmentilor de pământ, picturile sunt atacate de specii de *Penicillium*, *Verticillium*, *Trichothecium*, *Sphaeropsidales* și *Phoma pigmentivora*. Provoacă desprinderea stratului pictural datorită formării unor picnidii, sub acest strat.

Între speciile dăunătoare picturii mai menționăm pe: *Curvularia lunata*, *Chaetomium globosum*, *Emericella nidulans*, *Fusarium oxysporum*, *F. moniliforme*, *Macrophomina phaseolina*, *Trichoderma harsianum* etc.

Organismele heterotrofe se găsesc la suprafața picturilor murale, folosind atât substanțe organice, cât și pe cele minerale, pe care le antrenează în metabolismul propriu.

Din momentul în care pe suprafața picturilor murale s-a format un biofilm sau o biodermă vegetală înseamnă că s-au acumulat o serie de substanțe organice moarte, care pot fi valorificate de unele organisme heterotrofe (bacterii și fungi). Acestea sunt favorizate de prezența umidității, a substanțelor organice acumulate pe substrat și a prafului, care conține atât substanțe minerale, cât și organice.



Pictura murală este cu atât mai mult atacată de organisme heterotrofe cu cât biofilmul fixat prelucrează substratul, făcându-l accesibil acestora.

Cercetări recente efectuate asupra unor picturi murale au pus în evidență prezența unor bacterii heterotrofe din genurile *Bacillus* și *Micrococcus* și a unor fungi cum ar fi: *Acremonium nidulans*, *A. niger*, *Alternaria alternata*, *A. versicolor*, *A. flavus*, *Cladosporium herbarum* etc.

Picturile murale pot fi expuse atacului unor agenți biodeterioratori în funcție de o multitudine de factori:

- amplasamentul picturii;
- natura pigmentilor și lianților folosiți, tehnica de execuție a picturii;
- condițiile de mediu.

Agenții biodeterioratori pot acționa în mod activ asupra picturilor murale la temperaturi cuprinse între 5 și 45°C și la o U.R. a atmosferei de 55-100%.

În situația în care picturile murale se găsesc la exteriorul zidurilor, sau pe ziduri cu o umiditate ridicată pot fi expuse acțiunii biodeterioratoare a unor specii de alge și de ciuperci.

Este cunoscut faptul că pe unele ziduri umede se instalează cu ușurință o biodermă vegetală care se poate dezvolta și extinde. Pe substratul atacat se formează pete întinse de culoare verde, pe care apar și zone negricioase. Pe picturile murale se fixează diferite specii de alge verzi din genurile: *Pleurococcus*, *Protococcus* și *Trentepohia* și unele specii de cianobacterii din genurile *Scytonema* și *Oscillatoria*.

Fixarea algelor pe picturile murale nu este întâmplătoare, fiind condiționată de curenții de aer și de prezența acestor alge în diferite stadii, în mediu.

Algele se fixează pe picturile murale cu umiditate ridicată. Nutriția fiind autotrofă acestea au nevoie de lumină, de apă și de substanțe minerale. Acestea fiind asigurate, algele își pot porni sau

continua ciclul biologic. Din substratul reprezentat de pictura murală, algele pot extrage atât substanțe minerale, cât și organice care se găsesc în structura zidului și în stratul pictural. Accesul la substanțele minerale este favorizat de acizii organici secretați și eliminați de celulele algale. Prin secreția de zaharuri algele conferă condiții nutritive și unor bacterii, fungi și chiar licheni, bioderma vegetală putând lua proporții în timp.

## Biodeteriorarea picturilor murale

Atmosfera este încărcată cu milioane și milioane de spori de bacterii și de ciuperci, de alge microscopice, de grăuncioare de polen, de praf mineral și organic (substanță organică moartă particulată). Această încărcătură se poate lipi cu ușurință de picturile murale, fie că se găsesc la exterior sau la interior. Fixarea este cu atât mai ușoară cu cât zidurile sunt umede. Picturile murale reprezintă suporturi propice pentru creșterea și dezvoltarea unor bacterii și ciuperci mai ales în situația în care pe ele se așterne un strat grosier de praf. Sporii bacteriilor și ai ciupercilor pot germina și pot folosi ca suport nutritiv diferite substanțe organice din stratul pictural cât și din praful depus. Stratul pictural oferă condiții variate de hrană în funcție de natura pigmentilor și a lianților. Condițiile pot fi atât de diverse încât unele bioskene formate în diferite zone ale picturii pot avea o structură specifică extrem de variată.

Heryman et al. (1999) au urmărit diversitatea bacteriilor heterotrofe din biofilmul format pe diferite picturi murale din Europa. Au urmărit trei situri care oferă condiții oarecum diferite: Carmona (Spania), Herberstein (Austria) și Greene (Germania).<sup>54</sup>

Biofilmele prelevate conțineau bacterii heterotrofe aparținând genurilor *Bacillus*, *Paenibacillus*, *Micrococcus*, *Arthrobacter* și *Staphylococcus*. Dintre speciile de *Bacillus* identificate menționăm: *B. circulans*, *B. cohnii*, *B. firmus*, *B. licheniformis*, *B. mucroides*, *B. morismortui*, *B. megaterium*, *B. niacini*.

Din aceleași situri Gorbushina et al. (2002) prezintă atacul unor ciuperci.<sup>55</sup> Au identificat specii aparținând genurilor *Acremonium*,

---

<sup>54</sup> Heryman Jeroen, Jaris Hergert, Jean Swings, 2002. *Diversity of heterotrophic bacteria isolated from three European mural paintings*. Microbiology Letters, 181: 3-49.

<sup>55</sup> Gorbushina, A. Anna, Jeroen Heyrman, Joris Mergoert, Wolfgang E. Krumbein, Jean. Swings, 2002. *Comparison of the microflora present on three severely damaged*

*Cladosporium*, *Verticillium*, *Beauveria* și *Engyodontium*. Aceste specii de fungi au fost izolate din filmele biologice din care au fost izolate bacteriile heterotrofe.

Picturile murale sunt expuse permanent acțiunii agenților biodeterioratori. Prezența acestora sub formă de spori (bacterii, fungi) este mai mult sau mai puțin permanentă. Acționarea lor este determinată de anumite condiții de temperatură și de umiditate. Picturile murale pot fi colonizate de microorganisme în mod eșalonat. Prima colonizare poate fi realizată de cianobacterii, care sunt fotoautotrofe, care au nevoie de lumină și de umiditate. Pot urma bacteriile chemolitoautotrofe și sulfobacteriile care devin producătoare de materii organice, care favorizează fixarea bacteriilor heterotrofe și a fungilor. Metaboliții, organismele autotrofe, microorganismele moarte, praful și excrementele unor insecte asigură prezența permanentă a organismelor heterotrofe.

În cercetările efectuate de Katrin Ripka (2005) în palatul Schönbrunn și în Capela Sf. Virgil din Viena a constatat că formarea filmului biologic și caracteristicile sale depind de o serie de factori. Astfel, când substratul este bogat în SO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub> și compuși organici, vom constata prezența bacteriilor sulfooxidante, a celor nitrificante, a bacteriilor autofototrofe și a celor heterotrofe.<sup>56</sup>

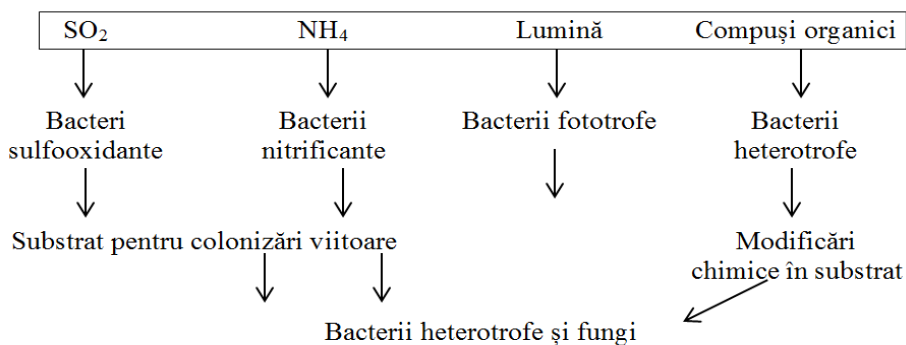
Microorganismele din filmul biologic pot determina producerea de pigmenți, clorofilă, acizi organici, modificarea pH-ului și a Rh-ului.

În anumite condiții se pot forma patine de diferite culori (verzi, roșii, cenușii), dislocarea unor porțiuni din substratul pictural, atacul acizilor organici și a carbonaților și hidroliza polimerilor.

---

*mural paintings subjected to different climatic conditions*. 5<sup>th</sup> Symposium on the Conservation of monuments in the Mediterranean Basin, p. 5-8.

<sup>56</sup> Ripka Katrin, 2005, *Identification of microorganism on stone mural painting using molecular methods*. Diplomarbeit, Univ. Viena.



**Fig.194.** Condiții de instalare a unor filme biologice.

În picturile murale de la Castelul Schönbrunn au fost identificate multiple specii de bacterii aparținând genurilor: *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Pantoea*. Dintre speciile dominante menționăm: *Moraxella osloensis*, *Enterobacter cloacae*, *E. agglomerans*, *Pantoea endophytica*.

Au fost identificate și unele bacterii miceliene termofile: *Saccharopolyspora reactivigula*, *Saccharamonospora viridis*, *Thermoactinomyces sacchari* și *Thermoactinomyces vulgaris*.

Dintre speciile de fungi care colonizează picturile murale de la Palatul Schönbrunn menționăm: *Cladosporium herbarum*, *C. sphaerospermum*, *Aureobasidium pullulans*, *Wallemia sebi*, o specie xerofilă și diferite specii de *Aspergillus*. Au fost identificate chiar și două specii de *Basidiomycete*: *Coprinus sp.* și *Trichosporon mucoides*.

În capelele Sf. Virgil și Sf. Maria-Magdalena din Viena au fost identificate în picturile murale unele specii de bacterii moderat halofilice: *Rubrobacter xylanophilus*, *Bacteroidetes bacterium*, *Rubrobacter radiotolerans*, precum și unele specii de bacterii externe halofilice: *Halococcus dombrowskii*, *H. salifodinae*, și *H. morrhuae*.

În medii climatice extreme din Antarctica și din unele deșerturi din America de Nord au fost identificate microorganisme fototrofice criptoendolitice care formează biolfime deosebit de rezistente.

Este cunoscut faptul că în zona mediteraneană se găsesc diferite monumente arheologice antice care în timpul anului pot oferi microorganismelor fixate pe suportul de piatră sau de marmură condiții extreme de existență (temperaturi extreme, lipsa precipitațiilor, curenți puternici de aer).

Ariño et al. (2002) elucidează unele aspecte privind colonizarea unor nișe criptoendolitice de către unele microorganisme fototrofice.<sup>57</sup>

În cercetările efectuate la Templul lui Jupiter din Baelo Claudia din nordul Spaniei, din patina biologică fixată pe mortarul acestui templu au fost crescute în laborator și identificate mai multe specii – organisme fototrofice, între care dominau specii de *Cyanobacteria* și *Chrolophyra* și *Bacillariophyta*.

Dintre speciile de *Cyanobacteria* au fost identificate: *Aphanocapsa grevillei*, *Borzia perikleii*, *Calothrix marchica*, *Cyanosarcina parthenonensis*, *Nostoc calcicola*, *N. microscopicum*, *Phormidium fragilis* și *Synechococcus elongatus*.

Dintre speciile de *Chlorophyta* identificate în filmele biologice cercetate menționăm speciile: *Bractrococcus minor*, *Chlorella sp.*, *Choricystis minor*, *Ctenocladus circinatus* și *Pleurastrum obovatum*. Au fost identificate și două specii de *Bacillariophyta*: *Hantzschia amphioxys* și *Navicula mutica*.

Astfel de nișe asigură condiții în care aceste specii pot să reziste unor condiții de medii extreme.

Mortarul din Templul lui Jupiter este poros și prezintă și unele fisuri pe care aceste specii le pot penetra. În mortar se găsesc multiple cristale de calcit care permit preluarea și răspândirea luminii.

Lumina ar putea deveni un factor limitant, însă tocmai aceste cristale fac lumina funcțională.

---

<sup>57</sup> Ariño, X., Hernandez – Marine, C. Saiz-Jimenez, 2002, *Colonisation of cryptoendolithic niches in Roman mortars by phototrophic microorganisms*, Phycologia, 35: 183-189

Filme biologice fototrofice ne prezintă și Zammit et al. (2002) din unele catacombe paleocreștine din Malta și din Rabat.<sup>58</sup>

În astfel de biofilme au fost identificate specii aparținând genurilor: *Leptolyngbya*, *Pseudanabaena*, *Nostoc*, *Loriella*, *Scytonema*, *Gloeocapsa* și *Asterocopca*. Aceștia li se adaugă și unele alge verzi aparținând genurilor: *Chlorella*, *Trentepohlia* și *Pseudococcomyxa*.

Un rol important în aceste structuri îl prezintă și unele bacterii **chemoorganotrofe** aparținând genurilor *Bacillus*, *Micrococcus*, *Nocardia* și *Isopetricola*, precum și unele specii de fungi aparținând în special genurilor: *Aspergillus*, *Cladosporium* și *Penicillium*.

Bacteriile halotolerante găsesc medii prielnice în eflorescențele de pe zidurile unor biserici deteriorate. Astfel, Laiz et al. (2002) au urmărit speciile de bacterii din compoziția unor eflorescențe din Biserica Sf. Jerome din Granada, Spania.<sup>59</sup> Eflorescențele prezentau diferite săruri higroscopice (carbonați, nitrați, sulfati).

Bacteriile halofile sunt cunoscute ca populând medii ostile (hipersaline, hipertermale). Dintre speciile dominante menționăm: *Bacillus circulans*, *B. licheniformis*, *B. pumilus*, *Micrococcus luteus*, *Cellulomonas gelida*, *Kocuria rosea*, *Arthrobacter crystallopoietes*.

În eflorescențele de la Catedrala AllSones din Jerez, Spania, Laiz et al. (2002) au identificat, de asemenea multe specii de *Bacillus* și specii de *Micrococcus*, *Arthrobacter* și *Staphylococcus*.

Este vorba de *Bacillus anthracis*, *B. amyloliquefaciens*, *B. brevis*, *B. cereus*, *B. freudenreichii*, *B. licheniformis*, *B. sphaericus*. Au mai fost identificate speciile: *Staphylococcus haemolyticus*, *Micrococcus halobius*.

---

<sup>58</sup> Zammit Gabriella, Daniela Billi, Eliot Shubert, Jan Kästov, Patricia Albertano, *The Biodiversity of subaerophytic biofilms from Malta hypogea*.

<sup>59</sup> Laiz, L., C. Cardell, J. Rodriguez – Gardilo, C. Saiz – Jimenez, 2002, *Holotolerant bacteria in the efflorescences of a deteriorated church* 36: 129-138.

Este cunoscut faptul că unele bacterii sunt capabile să precipite unele calcite și alte minerale (aragonite, struvite, apatite, bobierrite etc.). Autorii au constatat că speciile: *B. cereus*, *B. bulgaricus*, *B. globigii*, *B. fluorescens*, *Serratia ssp.* și *Citrobacter spp.* formează cristale de calcite, care conțin acetat de sodiu.

Laiz et al. (1999)<sup>60</sup> și Cañaveras et al. (1999)<sup>61</sup> au studiat multiple cristale de calcite, aragonite și hidromagnesite formate de speciile: *Bacillus cereus*, *B. sphaericus*, *Streptomyces rishiriensis*, *Chryseomonas luteola*, *Flavimonas oryzihabitans*, *Serratia liquefaciens* și *Xanthomonas maltophilia*.

Deși nu intră încă în preocupările specialiștilor din domeniul conservării bunurilor de patrimoniu trebuie să precizăm că nu există formațiuni minerale și organice în natură (naturale sau artificiale), pe care să nu se formeze structuri de tipul filmelor biologice; aceasta deoarece în natură funcționează perpetuu circuitul bio-geo-chimic al materiei.

În acest sens menționăm că în grote, stalactitele și stalagmitele sunt acoperite de film biologic care produce ample modificări structurale.

Astfel Laiz et al. (1999) prezintă diversitatea microbiană a filmelor biologice care se formează pe stalactitele din Grotta dei Cervi, din Porto Badesco, Italia.

Autorii au identificat numeroase specii care aparțin genurilor: *Bacillus*, *Nocardiopsis*, *Rhodococcus*, *Arthrobacter*, *Brevibacillus*, *Micrococcus*, *Variovorax* etc.

---

<sup>60</sup> Laiz, L. Groth, I., Gonzales, Saiz- Jimenez, C. 1999. *Microbiological study of the dripping waters in Altamiraceae* (Santiliana del Har, Spain). J. Microbiol. Merh. 36: 129-138.

<sup>61</sup> Cañaveras JC, Hoyos M, Sanchez-Moral S, Sanz-Rubio E, Bedoya J, Soler V, Groth I, Schumann P, Laiz L, Gonzalez I, Saiz-Jiménez C. (1999), *Microbial communities associated with hydromagnesite and needle-fiber aragonite deposits in a karstic cave* (Altamira, Northern Spain), Geomicrobiol J 16:9-25.



Alături de cristalele de natură minerală din care se formează stalactitele, se suprapun și cristale de natură biologică formate de aceste microorganisme.

Laiz et al. (1999) prezintă, de asemenea diversitatea filmului biologic fixat pe picturile rupestre din peștera Altamira din Spania. Este cunoscut faptul că picturile rupestre au rezistat zeci de mii de ani condițiilor de mediu ajungând în zilele noastre în condiții nesperat de bune. În mare parte această rezistență se datorează și efectului protector al filmului biologic (biopatinei). În structura acestor filme biologice au fost identificate mai multe specii de *Nocardia*, *Rhodococcus*, *Nocardioides*, *Brevibacterium*, *Actinomyces*.

### **Microorganisme autotrofe și heterotrofe izolate din diferite picturi murale (prelucrare după Agrawal et. al 1989)<sup>62</sup>**

#### **Microorganisme autotrofe**

##### **Bacterii – Cyanobacterii (Alge albastre-verzi)**

*Microcoleus delicatulus*

*Microcystis parietina*

*Oscillatoria brevis*

*Oscillatoria irrigua*

*Phormidium autumnale*

*Phormidium bohneri*

*Phormidium valderianum*

*Symploca muralis*

##### **Alge - Chlorophyta**

*Chlorella vulgaris*

*Chlorella ellipsoidea*

---

<sup>62</sup> Agrawal, O.P, Shashi Dhawan, K.I. Garg, 1989, *Microbial deterioration paintings – a review*, Intach Conservation Centre, Lucknow, India.

*Chlorosarcinopsis minor*  
*Gloeotila protogenita*  
*Microthamnion strictissimum*  
*Protococcus viridis*  
*Stichococcus bacillaris*  
*Ulothrix punctata*  
*Ulothrix zonata*

### **Chrysophyta**

*Botryochloris minima*  
*Fragilaria* sp.  
*Heterodendron* sp.  
*Pascheri* sp.

### **Pyrrophyta**

*Ceratium hirundinella*  
*Pediastrum* sp.

### **Organisme heterotrofe**

#### **Fungi**

*Acremonium indicum*  
*Acremonium roseolum*  
*Acrothecium* sp.  
*Alternaria alternata*  
*Aspergillus medulans*  
*Aspergillus niger*  
*Aspergillus terreus*  
*Aspergillus versicolor*  
*Bispora* sp.  
*Cephalosporium acremonium*  
*Chaetomium globosum*  
*Chaetomium* sp.  
*Cladobotryum* sp.

*Cladosporium cladosporioides*  
*Cladosporium cucumerinum*  
*Cladosporium sphaerospermum*  
*Doratomyces* sp.  
*Drechslera australiensis*  
*Drechslera hawaiiensis*  
*Emericella nidulans*  
*Engyodontium album*  
*Epicoccum nigrum*  
*Epicoccum purpurascens*  
*Fusarium moniliforme*  
*Fusarium oxysporum*  
*Fusarium solani*  
*Fusarium* sp.  
*Gliocladium* sp.  
*Gliomartix roseum*  
*Gliomartix virens*  
*Haplosporella* sp.  
*Helminthosporium* sp.  
*Macrophorina phaseolina*  
*Mammaria echinobotryoides*  
*Mucor mucedo*  
*Nigrospora* sp.  
*Paecilomyces variotii*  
*Penicillium camemberti*  
*Penicillium citrinum*  
*Penicillium citreo-viride*  
*Penicillium decumbens*  
*Penicillium frequentans*  
*Penicillium oxalicum*  
*Penicillium purpurogenum*  
*Penicillium restrictum*

*Penicillium velutinum*  
*Pestalotia* sp.  
*Phycomyces* sp.  
*Plicaria muralis*  
*Pseudotorula* sp.  
*Pullularia pullulans*  
*Pyronema domesticum*  
*Rhizopus nigricans*  
*Sepedomium* sp.  
*Sporotrichum roseum*  
*Stachybotrys atra*  
*Stemphylium* sp.  
*Trichoderma harzianum*  
*Trichoderma viride*  
*Verticillium* sp.

## Aspecte privind biodeteriorarea picturilor murale de la Biserica Mănăstirii Popăuți – Botoșani<sup>63</sup>

Dintre bunurile cu valoare de patrimoniu, *pictura murală* (parietală), a fost și este foarte frecvent utilizată, tehnica de lucru fiind variată: frescă, tempera, pictură cu var sau în ulei, encaustică ș.a. Dintre acestea *fresca* este foarte apreciată pentru rezistența ei. Pictată pe var umed (de unde și denumirea de *frescă* din italianul *fresco*), conferă o foarte bună rezistență în timp a culorilor și permite o modelare cromatică la un nivel de mare finețe.

Adaptată, sub aspect tehnic în timp diferitelor zone, circumscrisă numeroaselor reguli meșteșugărești ale breslelor de pictori, fresca, deși (după cum menționam) una dintre cele mai rezistente forme de decorație murală, este supusă acțiunii degradatoare cauzată de agenții biologici.

În ceea ce privește degradarea biologică a picturilor murale (atât în tehnica frescei cât și *al secco*) trebuie menționat și în acest caz faptul că biofilmul de la suprafața decorațiilor se formează numai atunci când condițiile de microclimat sunt favorabile. Astfel micro-organismele se dezvoltă pe picturile parietale în contextul în care valorile umidității relative ale aerului sunt mari, depășind 75%, iar valorile temperaturii oscilează între 5 și 40°C.<sup>64</sup>

Modificările biologice produse picturilor murale pot fi subdivizate în două categorii (O. P. Agraval, Shashi Dhawan, K. L. Garg, 1989):

---

<sup>63</sup> Ungurean Bogdan, 2004, *Efectele complexului etiopatogenic în degradarea bunurilor de patrimoniu. Implicații practice-biodeteriorarea frescelor și al pietrei de la Biserica Mănăstirii Popăuți, Botoșani*, din lucrarea de disertație, Univ. „Al.I.Cuza” Iași.

<sup>64</sup> Tonolo and Giacobini (1958) citați de O. P. Agraval, Shashi Dhawan, K. L. Garg în *Microbial Deterioration of Paintings: A Review*, NRLC, Lucknow (India), 1989.

1. Deteriorări cauzate de activitatea micro-organismelor autotrofe (alge și licheni)
2. Deteriorări cauzate de activitatea micro-organismelor heterotrofe bacterii, fungi și streptomycete).

Referitor la prima categorie, umiditatea ridicată (peste 95%) și prezența luminii favorizează dezvoltarea algelor pe picturile murale. Tonolo și Giacobini (1961) citați de O. P. Agraval, Shashi Dhawan, K. L. Garg (1989) menționează că dintre algele prezente pe picturile murale, sunt predominante algele verzi.

Strzelczyk (1981) citat de O. P. Agraval, Shashi Dhawan, K. L. Garg (1989) descrie fenomenul de expansiune al algelor pe picturile murale, acestea putând ajunge să acopere dimensiuni mari ale suprafeței pictate cu nuanțe de verde evitând pe alocuri suprafețele cu pigmenți toxici pentru alge.

Lumina solară, indispensabilă pentru creșterea algelor, are un efect nociv asupra celor mai multe organisme heterotrofe, din cauza conținutului de radiație ultravioletă. Dezvoltarea algelor în zonele expuse la soare provoacă pete în diferite nuanțe de verde, de la foarte închis, aproape negru, până la tonuri de galben-verzui. Culoarea depinde de specia de algă predominantă pe zona respectivă.

Speciile de alge care degradează picturile murale depind în mare măsură de condițiile climatice. Algele sunt foarte sensibile la variațiile de temperatură, acest factor fiind cel care selectează speciile componente ale comunităților dezvoltate pe picturi murale. Skinner (1971) citat de O. P. Agraval, Shashi Dhawan, K. L. Garg (1989), în studiile sale privind rezistența pigmentilor folosiți în pictură la dezvoltarea coloniilor de alge notează faptul că pe zonele aflate sub incidența luminii solare în condițiile unui climat temperat s-au dezvoltat alge verzi (specii de *Pleurococcus*, *Protococcus* și *Trentepholia*). În condițiile unui climat tropical pe suprafețele pictate expuse la lumină s-au dezvoltat specii de alge verzi-albastre din genurile *Oscillatoria* și *Scytonema*.

Sokoll (1977) citat de O. P. Agraval, Shashi Dhawan, K. L. Garg (1989) menționează specii de alge aparținând la patru grupe semnalate pe picturi murale. Dintre acestea: Chlorophyta – specii din genurile *Chlorella*, *Stichococcus*, *Ulothrix*, *Protococcus*, *Gleotila* ș.a; Cyanophyta – cu specii din genurile *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Microcystis*, *Microcoleus* ș.a; Crysophyta – cu reprezentanți ai genurilor *Botryocloris*, *Heterodendron*, *Pascheri* și *Fragilaria*; Pyrrophyta – cu specii din genurile *Ceratium* și *Pediastrum*.

Efectul algelor pe suprafața picturilor murale nu se limitează la simpla depunere pe suprafață, ele având și un efect corosiv prin secreția de acizi organici (acetic, glicolic, lactic, oxalic, acid piruvic și succinic) (Levin, 1962 citat de O. P. Agraval, Shashi Dhawan, K. L. Garg, 1989). Algele pot de asemenea să secrete cantități mari de zaharuri și aminoacizi care facilitează dezvoltarea bacteriilor și a unor ciuperci. Dintre acestea, deseori, microfungi din familia Dematiaceae au fost semnalati concomitent cu alge în colonii mixte, parte a biofilmului deterioagen de la suprafața picturilor murale.

Astfel microorganismele din a doua categorie (heterotrofe – bacterii și fungi) dețin un rol important în biodegradarea decorațiilor parietale.

Dintre organismele izolate de pe suprafața picturilor murale și implicate în procesele de biodeteriorare sunt menționate de către diferiți cercetători bacteriile (mai ales bacterii sulf-oxidante din genul *Thiobacillus* dar și specii de *Bacillus* etc.) și ciupercile microscopice (micromicete din genurile: *Aspergillus*, *Penicillium*, *Stemphylium*, *Verticillium*, *Sporotrichum*, *Alternaria*, *Chaetomium*, *Cladosporium*, *Cephalosporium*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Gliocladium*, *Trichoderma*, *Streptomyces*, *Doratomyces*, *Fusarium*, *Acremonium*, *Paecilomyces* etc.).

Unele cercetări efectuate în România pe opere de artă, precum și pe monumente istorice au pus în evidență diverse forme de biodeteriorare de la pete de diferite culori până la alterări profunde ale

structurii substratului și dislocarea unor fragmente. Pe frescele exterioare situate pe fațadele nordice ale edificiilor religioase adesea ciupercile pot fi găsite în asociație cu alge și licheni. Acțiunea lor cumulată (după cum menționăm mai sus) are efecte deosebit de dăunătoare. Instalarea ciupercilor saprofite pe fresce se poate explica prin nevoia lor de cantități foarte mici de substanțe nutritive organice pe care le pot găsi în substratul respectiv, acestea fiind reprezentate de ingredientele de natură organică ce se utilizează în tehnica de execuție a frescelor (adaos de fibre vegetale cum sunt paiele uscate și cânepa – câlții; prezența lianților proteici folosiți la finisajele *al secco* – cazeina și cleiuri animale).



**Fig. 195.** Macrofotografie (efectuată la stereolupă, pe o secțiune de 5 mm<sup>2</sup>), ce evidențiază structura stratului de intonaco – prezența materiilor vegetale (paie), în amestec cu var. (după B. Ungurean, 2004)

Trebuie menționat, în ceea ce privește corelația dintre materialele folosite în execuția frescelor și suportul nutrițional pentru agenții de biodeteriorare, faptul că, o tehnică relativ complexă (cum este cazul frescei), oferă posibilități largi de adaptare la substrat a diferiților agenți patogeni. Diversitatea materialelor folosite în tehnica originală, mărită în timp datorită diferitelor intervenții ulterioare; este completată și de acumulările atmosferice de natură organică de la suprafața decorațiilor murale, inerente trecerii timpului și care, adaugă noi surse de elemente nutriționale, măbind viteza procesului de instalare și dezvoltare a dăunătorilor biologici.



Ciupercile deteriorează frescele fie pe cale mecanică prin pătrunderea filamentelor de miceliu în substrat, fie pe cale chimică prin producerea unor pigmenți care colorează substratul sau, a unor acizi care acționează asupra carbonatului de calciu ( $\text{CaCO}_3$ ) din substrat, precum și prin reacții enzimatice asupra componentelor picturii.

Pătrunderea hifelor miceliene în pictură poate determina fisurarea care atrage după sine desprinderea de suport. Deteriorările cele mai accentuate sunt în zonele puțin luminate și unde umezeala persistă mai mult timp. Astfel se explică friabilitatea crescută și gradul mai avansat de deteriorare a frescelor exterioare de pe suprafețele pereților nordici ai monumentelor religioase față de picturile de pe pereții sudici. De asemenea la interior lumina scăzută, umiditatea de cele mai multe ori ridicată cât mai ales fluctuațiile valorilor de microclimat (temperatură și umiditate relativă), lipsa sistemelor de ventilație, ce duc la formarea condensului pe pereți, sunt factori ce favorizează dezvoltarea unor microorganisme cu rol în degradarea picturilor murale.

Atât pe frescele exterioare cât și pe unele porțiuni din interior, la o examinare mai atentă se pot observa o serie de pete și fisuri în frescă sau chiar desprinderea unor porțiuni. Pe pereții exteriori nordici deteriorările sunt destul de accentuate, în unele zone imaginile fiind de nerecunoscut. La producerea acestor degradări au contribuit o multitudine de factori abiotici care au determinat sau au favorizat procese fizico-chimice la care s-a asociat și degradarea biologică.

Sub aspectul nutriției am menționat anterior că ciupercile sunt heterotrofe, fapt ce se datorează lipsei de pigmenți asimilatori. Ele acționează direct asupra substratului nutritiv (prin intermediul pătrunderii hifelor miceliene), descompunând, prin secreții enzimatice, materiile complexe în compuși simpli pe care apoi îi folosesc în cadrul proceselor de metabolism.

Atât ciupercile saprofite cât și cele parazite au dezvoltate anumite părți ale miceliului prin care se face transferul de substanță nutritivă (deși la multe specii acest fenomen poate avea loc pe toată

suprafața miceliului), rizoizii la saprofite și haustorii la ciupercile parazite.

Procesele enzimatică ale ciupercilor se pot reduce schematic la descrierea a două tipuri de enzime: constitutive – produse de toate tipurile de ciuperci fără excepție și enzime adaptative ce apar (fiind produși ai agenților fitopatogeni), atunci când intervine necesitatea adaptării la un nou substrat nutritiv.

Acest al doilea tip de proces enzimatic este caracteristic ciupercilor polifage în primul rând; ele fiind cele care și-au dezvoltat în timp capacități extraordinare de adaptare la diferite medii de nutriție, fiind reprezentate de majoritatea speciilor saprofite, facultativ parazite și facultativ saprofite.

În cele mai multe cazuri deteriorarea provocată de fungi apare ca efect al instalării acestora pe zonele respective în urma proceselor metabolice ale unor bacterii deja prezente care sintetizează anumiți constituenți ai substratului în componente ce pot constitui nutrienți pentru fungi. De altfel, cele mai multe dintre ciupercile ce dăunează frescelor și pietrei trăiesc într-o așa-zisă simbioză cu anumite bacterii acționând simultan în producerea degradărilor.

Prezența microorganismelor bacteriene pe frescă se explică prin existența substanțelor ce constituie surse de hrană în componența substratului pictural – ca toate organismele vii, microorganismele au nevoie pentru creștere și multiplicare, ca și pentru toate celelalte manifestări ale activității lor biologice, de prezența în mediul înconjurător a unor substanțe nutritive, care să conțină, pe de o parte, elementele chimice necesare pentru sinteza constituenților celulari, pentru activitatea enzimelor și sistemelor de transport, iar, pe de altă parte, să furnizeze substanțele necesare pentru producerea de energie biologic utilă.

Bioelementele majore – macroelementele, (C, O, H, S, P, K, Mg, Ca, Fe), sunt necesare în concentrații relativ mari. Dintre acestea, C, O, H, S și P formează aproximativ 95% din greutatea celulară uscată a bacteriilor și reprezintă ca atare constituenții majori ai biomasei celulare

a microorganismelor. În plus macroelementele îndeplinesc funcții cu semnificație esențială în metabolism și în general în viața microorganismelor.

Astfel sulful (prezent în substratul pictural), este necesar pentru sinteza unor aminoacizi (cisteină și metionină) și a unui număr mare de coenzime. Ultimele patru elemente majore (K, Mg, Ca, Fe – ultimele două de asemeni prezente în proporții majore în tehnica decorațiilor al fresco), sunt ioni metalici necesari pentru activitatea enzimelor sau intră, ca elemente, în compoziția complexelor metalice. Calciul intră în structura unor exoenzime (amilaze, proteaze, etc.) și a dipicolinatului de calciu, caracteristic endosporilor bacterieni. Ionii feros și feric fac parte din structura unor purtători redox cum sunt citocromii și proteinele FeS.

Bioelementele minore – micronutrienții, (Zn, Mn, Mo, Cl, Mo, Se, Co, Cu, W, Ni), sunt necesare în cantități foarte mici, unele (Zn, Mn), ca elemente esențiale pentru toate microorganismele, în timp ce altele (Mo, Se, Co, Cu, W), numai pentru unele activități metabolice speciale. Zincul de pildă este necesar deoarece ADN- și ARN-polimerazele sunt metaloproteide cu zinc, iar cuprul (prezent în proporție mare în colorația albastră în frescă), intră în structura unor enzime care transferă electroni de la nivelul unui substrat la oxigen.

Nevoia de ioni minerali variază cantitativ și calitativ de la un microorganism la altul, în primul rând, datorită diferențelor de constituție enzimatică și de eficacitate a mecanismelor de concentrare activă a lor din mediu. Unele enzime necesită prezența specifică a unui singur ion care face parte integrantă din centrul ei activ. De foarte multe ori însă activarea totală a unor enzime necesită prezența a doi sau mai mulți ioni metalici diferiți.<sup>65</sup>

În figurile 196-204 sunt prezentate diferite tipuri morfologice de colonii bacteriene izolate din probe prelevate de la suprafața picturilor

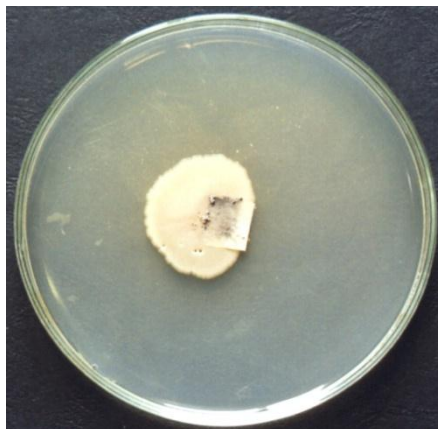
---

<sup>65</sup> Informații preluate din: G. Zarnea - *Tratat de microbiologie generală*, vol. II, ed. Academiei RSR, București, 1984.

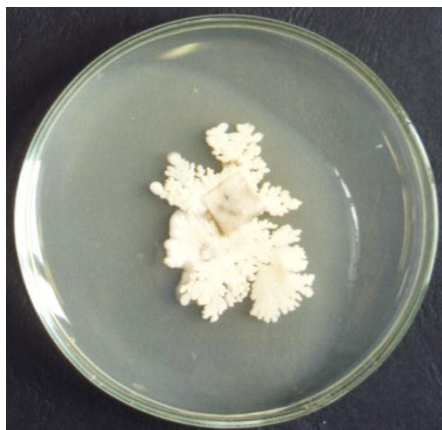
murale de la biserica mănăstirii Popăuți-Botoșani, cât și ilustrația microscopică a morfologiei diferitelor tulpini analizate (B. Ungurean, 2004).



**Fig. 196**



**Fig. 197**



**Fig. 198**



**Fig.199**

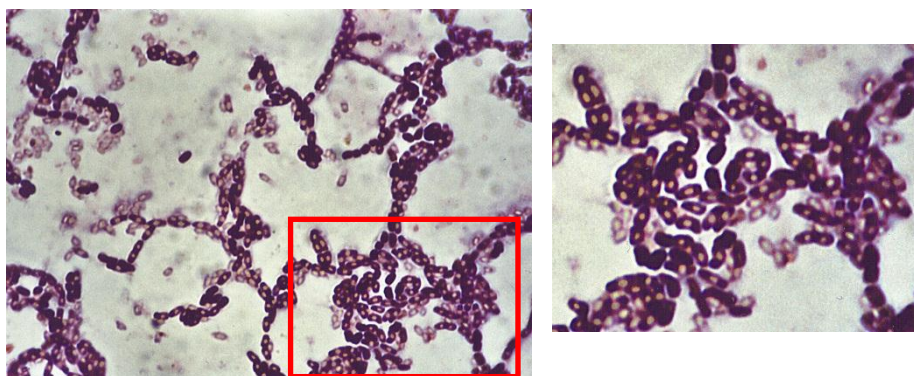
**Fig. 196** – colonie de formă neregulată cu margine ondulată, având un profil plat, cu o consistență vâscoasă, opacă de culoare alb-gălbui cu marginea albă,

**Fig. 197** – colonie bacteriană cu formă neregulată, aspect neregulat al marginilor, cu profil plat, de consistență mucilaginoasă, opacă de culoare alb-gălbui,

**Fig. 198** – colonie de formă neregulată cu margine dințată și profil umbonat, de consistență uscată, opacă de culoare alb-gălbui,

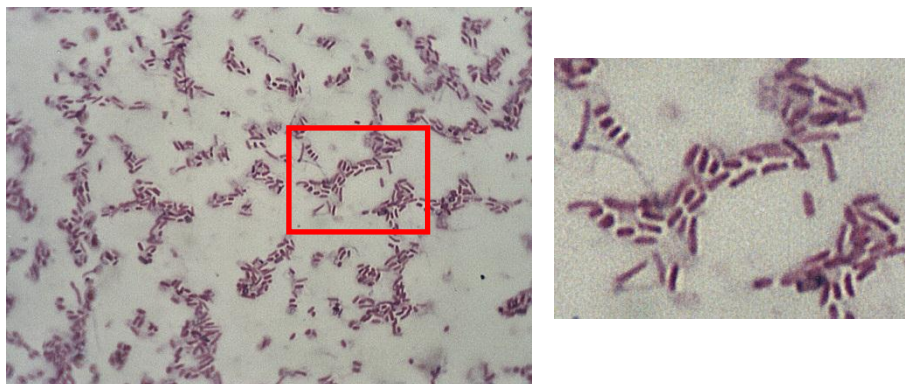
**Fig. 199** – colonie bacteriană de formă neregulată cu margine dințată, profil plat, de consistență mucilaginoasă, opacă de culoare alb-gălbui.

(după B. Ungurean, 2004)

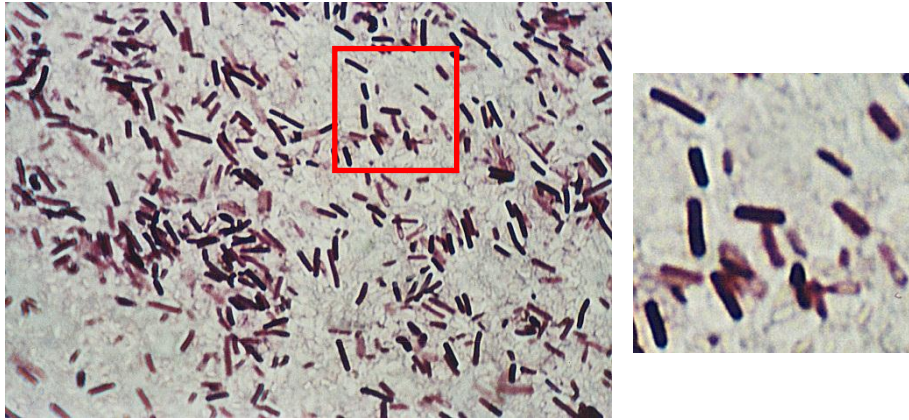


**Fig. 200.** Bacili gram pozitiv de dimensiuni mari, sporulați central, nedeformați, aranjați în lanțuri lungi, având capete rotunjite (100X)

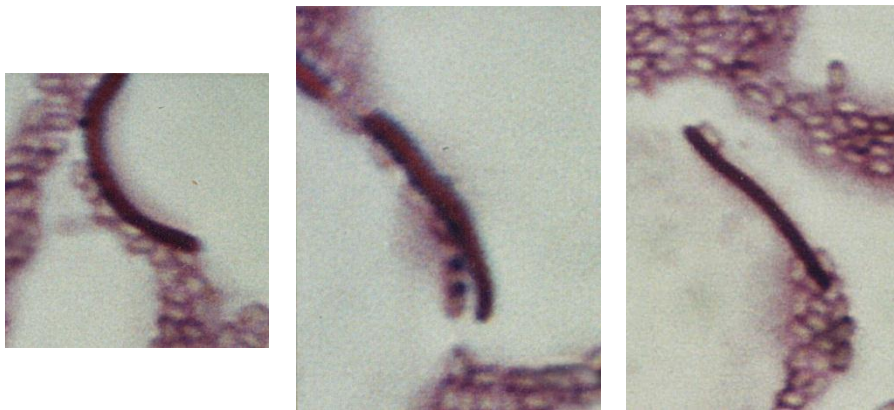
(după B. Ungurean, 2004)



**Fig. 201.** Bacili gram pozitiv de dimensiuni mici, nesporulați, izolați, având capete rotunjite (100X) (după B. Ungurean, 2004)

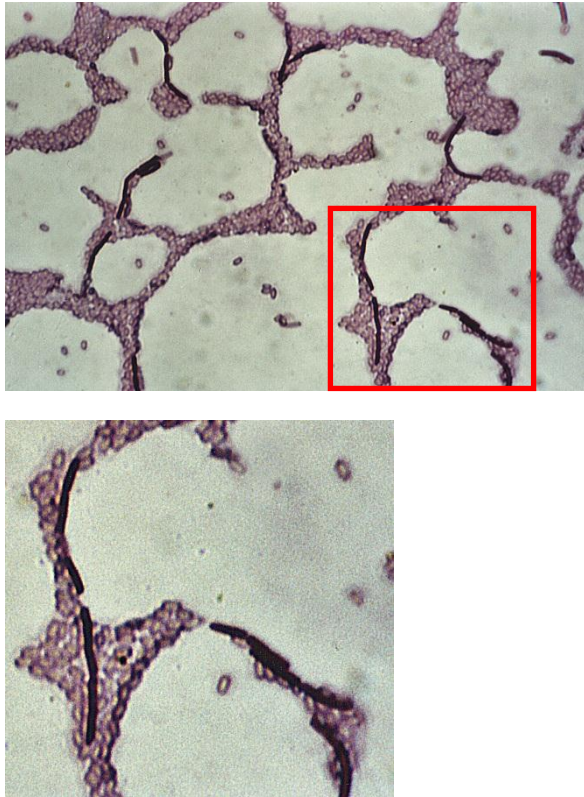


**Fig. 202.** Bacili gram pozitiv nesporulați, fiind izolați, cu capete rotunjite, ușor alungiți de dimensiuni mai mari decât cei prezentați anterior, în masă de spori fără colorație. Acest tip bacilar a fost izolat din coloniile prelevate de pe piatră fără tencuială (100X)  
(după B. Ungurean, 2004)



**Fig. 203.** Bacili fusiformi (alungiți), gram pozitiv, nesporulați, izolați în masă de spori – aceștia fiind evidențiați prin colorație (100X)  
(după B. Ungurean, 2004)





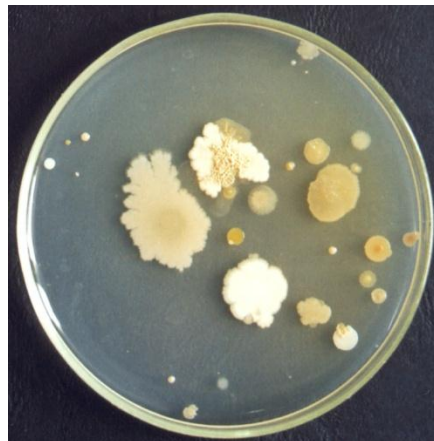
**Fig. 204.** Bacili gram pozitiv, nesporulați, dispuși în lanțuri, în masă de spori – ce prezintă de asemenea colorație, având capete rotunjite (100X)  
(după B. Ungurean, 2004)

Prezența bacteriilor biodeterioгене pe suprafețele picturilor murale este direct corelată și influențată proporțional de gradul de infestare al aerului. Astfel o analiza a aeromicroflorei din spațiile interioare ale căror pereți prezintă decorații pictate poate să ofere informații despre indicele de prezență al bacteriilor în biofilmul de la suprafața picturilor murale.

În figurile 205-207 sunt exemplificate aspecte din cadrul analizei aeromicroflorei din spațiile bisericii mănăstirii Popăuți-Botoșani, fiind ilustrate coloniile bacteriene care s-au dezvoltat pe mediile de cultură la o expunere de 15 minute (B. Ungurean, 2004).



**Fig. 205**



**Fig. 206**



**Fig. 207**

**Fig. 205.** Pronaos  
UFC = 681,556

**Fig. 206.** Naos  
UFC = 1572,821

**Fig. 207.** Altar  
UFC = 6291,286

(după B. Ungurean, 2004)

Calculul unităților formatoare de colonii (UFC) se efectuează după formula propusă de V. Omelianski ce exprimă rezultatul în număr de germeni / m<sup>3</sup> aer. Formula este bazată pe considerația că în timp de



cinci minute pe o suprafață de 100 cm<sup>2</sup> se pot depune microorganisme dintr-un metru<sup>3</sup> de aer:

$$UFC / m^3 \text{ aer} = Nx100x100 / SxK$$

unde *N* este numărul de colonii, *S* este suprafața cutiei Petri (în cm<sup>2</sup>), iar *K* reprezintă un coeficient de timp cu valoarea de 1 pentru o expunere de 5 minute, 2 pentru 10 minute și 3 pentru un timp de expunere de 15 minute.

Deși nu conferă o relevanță absolut exactă asupra numărului germenilor prezenți în microflora interioară a spațiilor analizate, metoda este suficientă pentru a dovedi faptul că încăperile bisericii de la Popăuți prezentau la momentul efectuării analizelor un grad relativ ridicat de încărcare microbiologică a aerului. Faptul se datorează în primul rând lipsei oricărei surse de ventilație și procentului mare al umidității relative a aerului.

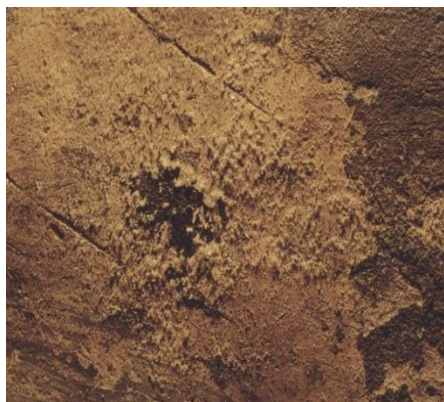
Rezultatele descriu o anumită creștere a numărului de gemeni pe cubaj de aer dinspre pronaos înspre altar, acesta din urmă având valori foarte mari comparativ cu pronaosul.

Acest lucru se poate datora faptului că altarul este camera ce prezintă cele mai mici posibilități de aerisire față de primele două spații (pronaos și naos), unde ferestrele sunt mai mari; spațiile mai ample, iar deschiderea ușii conferă o sursă de aerisire.

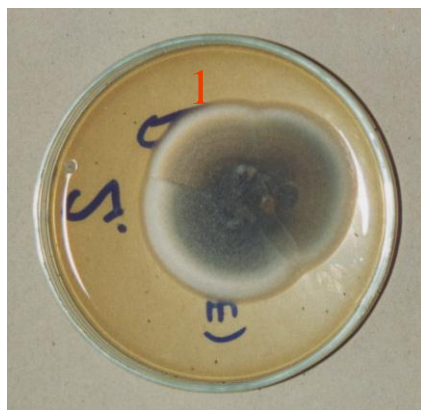
În ceea ce privește dezvoltarea coloniilor miceliene, pe frescele de la biserica mănăstirii Popăuți-Botoșani au fost identificate specii aparținând genurilor *Alternaria*, *Cladosporium*, *Penicillium*, cât și micelii fără fructificație (I. Ioniță, I. Muică, 2001). B. Ungurean (2004) confirmă prezența genurilor *Alternaria* și *Penicillium* menționate, pe picturile murale interioare, fiind semnalat și genul *Aspergillus*.

În figurile 208-224 sunt ilustrate aspecte ale zonelor de prelevare și ale coloniilor de microfungi dezvoltate pe mediu de cultură după însămânțarea cu probe de pe suprafețele murale. De asemenea sunt oferite imagini care detaliază caracterele morfologice ale conidiilor ce

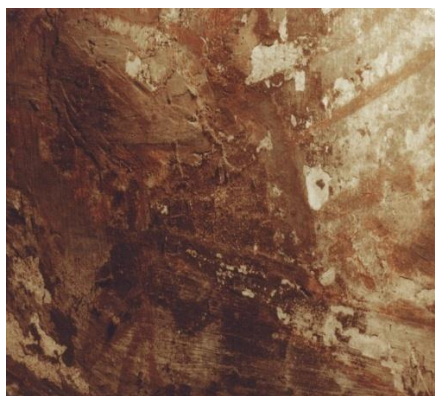
conferă posibilitatea determinării și încadrării taxonomice a microfungilor (B. Ungurean, 2004).



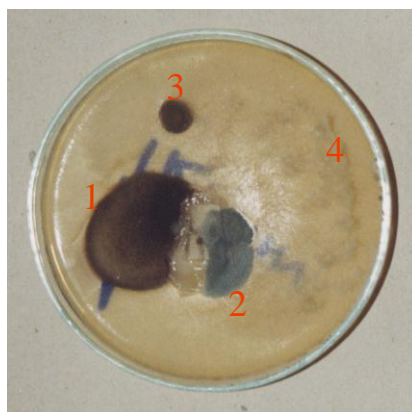
**Fig. 208.** Detaliul zonei de prelevare  
(după B. Ungurean, 2004)



**Fig. 209.**  
1 – aspect macroscopic al unei colonii de microfungi din genul *Penicillium*  
(după B. Ungurean, 2004)



**Fig. 210.** Detaliul zonei de prelevare  
(după B. Ungurean, 2004)



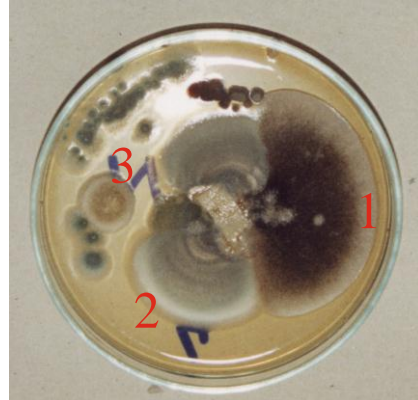
**Fig. 211.**  
1, 3 – aspect macroscopic al unor colonii de microfungi din genul *Alternaria*

2 – aspect macroscopic al unei colonii de microfungi din genul *Penicillium*

4 – hife miceliene fără fructificații  
(după B. Ungurean, 2004)



**Fig. 212.** Detaliul zonei de prelevare  
(după B. Ungurean, 2004)



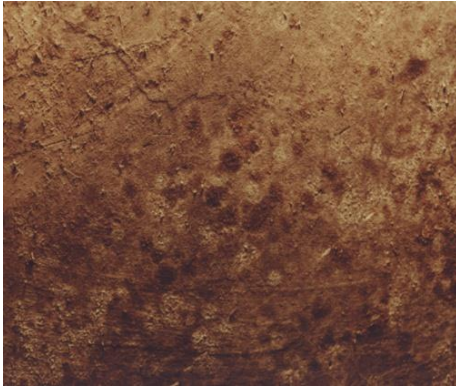
**Fig. 213.**

1 – aspect macroscopic al unor colonii de microfungi din genul *Alternaria*

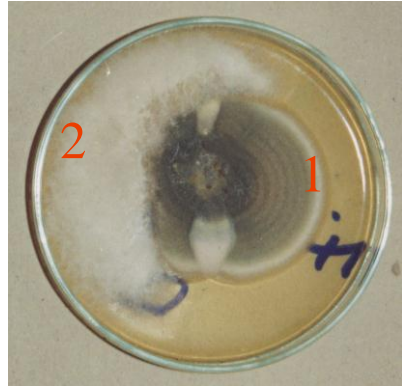
2 – aspect macroscopic coloniilor de microfungi din genul *Penicillium*

3 – aspect macroscopic al unei colonii de microfungi din genul *Aspergillus*

(după B. Ungurean, 2004)



**Fig. 214.** Detaliul zonei de prelevare (după B. Ungurean, 2004)



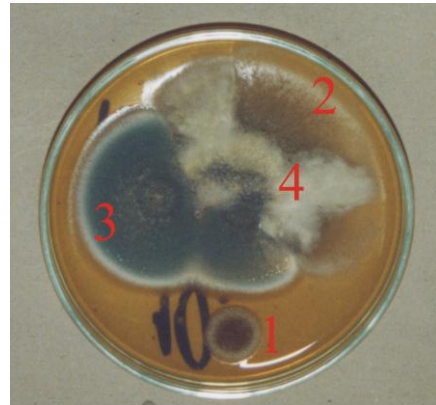
**Fig. 215.**

**1** – aspect macroscopic al unei colonii de microfungi din genul *Penicillium*

**2** – dezvoltarea unor hife miceliene fără fructificații  
(după B. Ungurean, 2004)



**Fig. 216.** Detaliul zonei de prelevare (după B. Ungurean, 2004)



**Fig. 217.**

**1** – aspect macroscopic al unei colonii de microfungi din genul

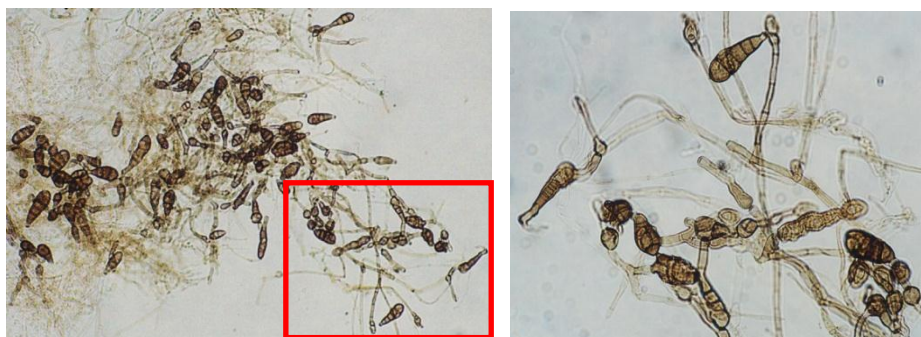
*Aspergillus*

2 – aspect macroscopic al unei colonii de microfungi din genul *Alternaria*

3 – aspect macroscopic al unei colonii de microfungi din genul *Penicillium*

4 – hife miceliene fără fructificații

(după B. Ungurean, 2004)



**Fig. 218, 219. *Alternaria***

Aspect general al unei aglomerări de conidii ale genului *Alternaria*.  
Imagine mărită de 40X ce prezintă caracteristicile definitorii ale genului *Alternaria*. Sunt evidente conidiile de tip muriform și hifele septate specifice acestui gen (după B. Ungurean, 2004)

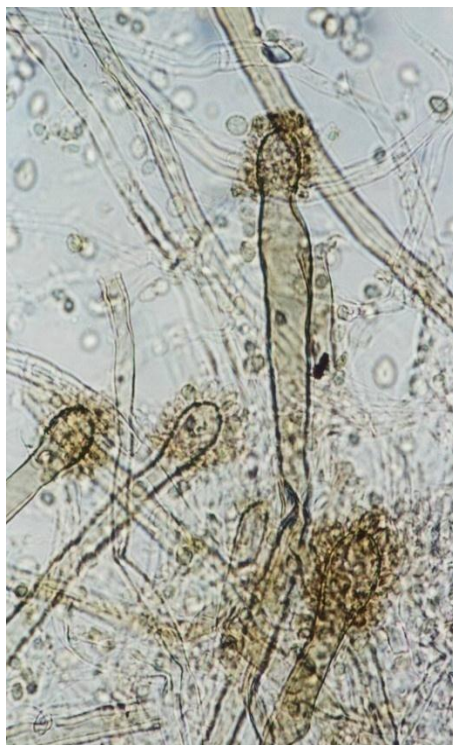


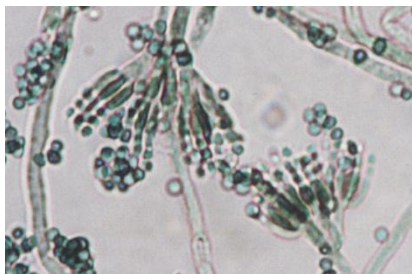
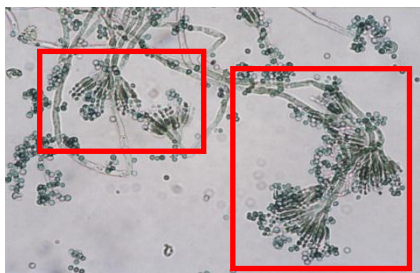


**Fig. 220, 221. *Aspergillus***

Imaginea mărită de 10X, exemplifică aspectul general al preparatului microscopic. Sunt evidente sporulația abundentă conidiofori și capi conidiali.

Imaginile mărite de 40X prezintă detalii pentru capul conidial cu veziculă voluminoasă în masă de spori. (după B. Ungurean, 2004)





**Fig. 222, 223, 224. *Penicillium***  
Ansamblu (40X), cu imaginea  
preparatului microscopic

Detalii de conidiofori. Se observă  
aspectul de penel, tipic pentru  
acest gen.

Detaliu de metule, fialide și  
fialospori  
(după B. Ungurean, 2004)

Situația particulară a degradărilor avansate, și a dezvoltării  
evolute a dăunătorilor microbiologici de la biserica mănăstirii Popăuți-  
Botoșani la nivelul anului 2004, este ilustrată și comentată în continuare  
(B. Ungurean, 2004).



**a**



**b**



c

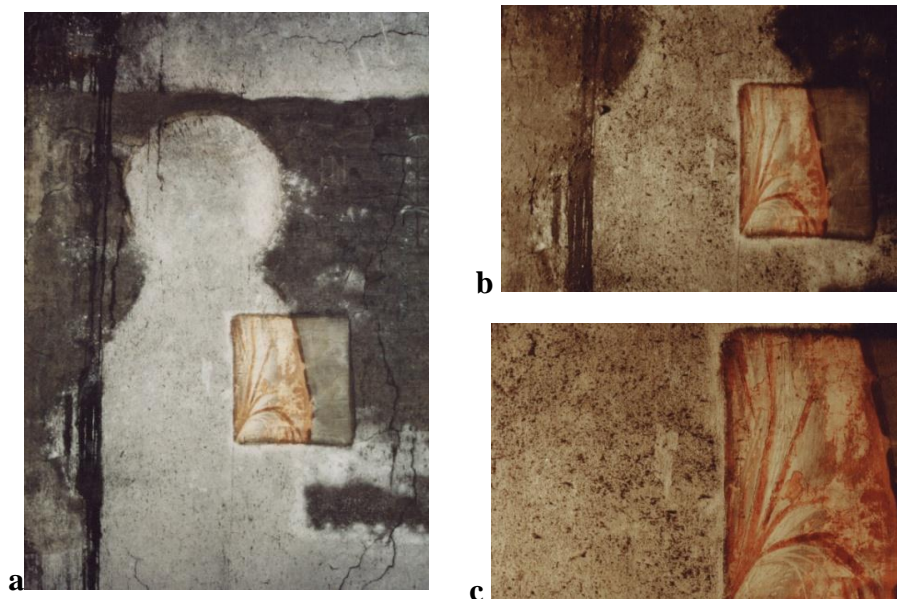
**Fig. 225 (a, b, c).** Imaginea evidențiază nivelul de capilaritate ridicat, umiditatea ajungând în substratul pictural până la înălțimi de peste trei metri. La limita superioară a nivelului de capilaritate se pot observa aglomerări de eflorescențe, rezultat al mișcării cantității de apă din substrat.

(după B. Ungurean, 2004)

Nivelul de capilaritate este foarte ridicat, apa ajungând prin infiltrație capilară la înălțimi de peste trei metri, cauza principală fiind lipsa izolației din fundația bisericii; porozitatea materialelor fiind cu atât mai mare odată cu trecerea timpului.

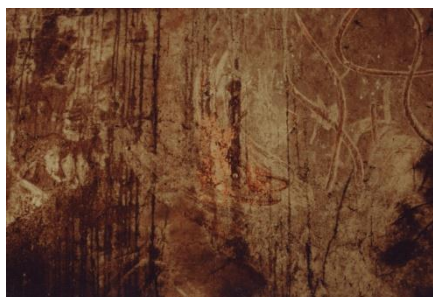
Eflorescențele vizibile pe suprafața picturilor au o densitate mai mare în zona limitelor nivelului de capilaritate, explicația constând în faptul că acestea au migrat odată cu apa din substrat localizându-se în proporție mai mare la limita superioară a zonelor cu umiditate de capilaritate. O serie de compuși chimici provenind din materialele folosite în tehnica originală de execuție, ale căror legături intermoleculare inițiale au fost rupte de acțiunea umidității, ajung la suprafață, regrupându-se sub forma sărurilor (sulfati, nitrați), în acest fel fiind facilitată dezvoltarea atacului biologic.





**Fig. 226 (a, b, c)**

Imaginile prezintă instalarea preferențială a atacului biologic pe zone definite de folosirea anumitor pigmenți. Detaliile evidențiază cantitatea mare de acumulări atmosferice dublată de dezvoltarea atacului biotic ce formează practic un strat consistent care acoperă în totalitate imaginea picturii (după B. Ungurean, 2004)



**Fig. 227**



**Fig. 228**

Detalii ce exemplifică prezența macroscopică a agenților biodeterioratori la suprafața frescelor (după B. Ungurean, 2004)

La interior pe suprafața frescelor se pot observa zone care au fost atacate preferențial de către agenții biodeterioratori, dezvoltarea coloniilor acestora având diferite proporții pe diverse zone cu pictură.

Dezvoltarea preferențială a coloniilor pe anumite suprafețe poate fi explicată prin natura pigmentilor care au fost folosiți local. Astfel o zonă pe care s-a folosit un pigment de pământ, mai sensibil la acțiunea erozivă a apei și la factorii de degradare biologici, este susceptibilă de o deteriorare mai rapidă și mai accentuată. Umiditatea de capilaritate migrează înspre exterior relativ mai ușor prin pigmentii de pământ aceștia având un grad de porozitate mai mare (sunt pigmenti mai sensibili în frescă), în acest fel fiind posibilă acumularea pe suprafață a materiilor solvite din substrat, faptul combinat cu factorii de degradare exteriori (depuneri atmosferice, umiditate din condens, etc.), ducând la apariția biodeteriorării.

Unul dintre aspectele instalării atacului biologic pe fresce reține atenția în mod deosebit: pe anumite zone din fundalul scenelor – care în tehnica picturii murale moldovenești este realizat cu pigment albastru azurit aplicat peste un strat de negru, dezvoltarea atacului factorilor de degradare biologici are o pondere mult mai scăzută. Faptul poate fi explicat prin natura pigmentului azurit – carbonat bazic de cupru, care prezintă o rezistență bună în frescă, structura cristalină și modul de aranjare al moleculelor putându-i conferi o anumită rezistență împotriva acțiunii atacului biologic. O altă explicație ar putea fi aceea că stratul de azurit este aplicat peste unul de negru – realizat prin „tufuire” a unei pulberi de cărbune de lemn peste stratul de preparație umed, ce are rolul atenuării acțiunii bazicității varului, astfel pigmentul azurit (sensibil la mediile alcaline – tinde să se transforme în verde malahit), având o mai bună rezistență în timp.

Suprafețele de fundal ale scenelor ce au fost erodate, în decursul anilor, într-un grad avansat, care în momentul actual nu mai păstrează pelicula de azurit, prezintă de asemenea o pondere mai redusă a atacului biologic probabil datorită lipsei materiilor din substrat care să faciliteze dezvoltarea avansată a agenților patogeni – având în vedere faptul că

stratul de negru obținut prin arderea lemnului nu conferă un substrat suficient de bogat în nutrienți pentru a înlesni dezvoltarea agenților biodegradatori.

Un alt posibil factor ce a favorizat apariția și dezvoltarea atacului biologic este folosirea în anumite locuri a unui pigment alb ce conține caseinat de calciu (adeziv organic obținut din amestecul de var pastă cu brânză degresată din lapte de vacă – procedeul fiind explicat din punct de vedere chimic prin precipitarea cu un mediu alcalin a proteinei din lapte), metoda fiind folosită de pictorii ce lucrau în frescă pentru retușuri finale al seco.

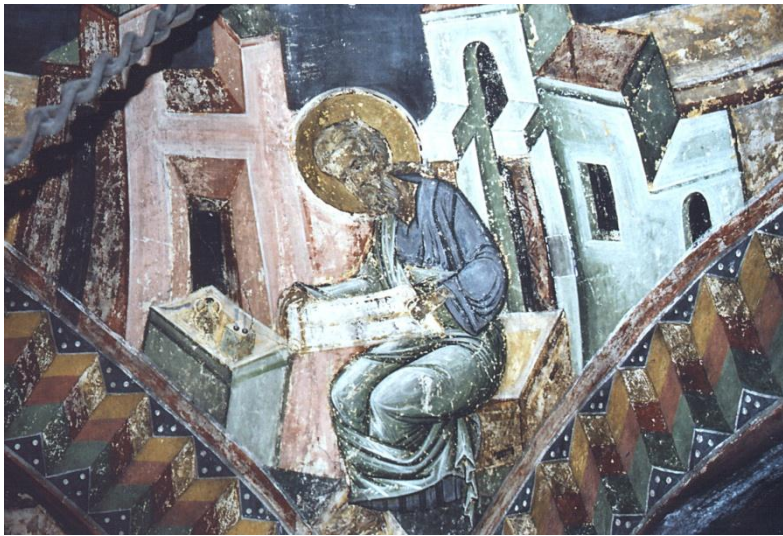


**Fig. 229 (a, b)**

Aspect al unei zone cu decorații în frescă înainte și după efectuarea operațiunii de curățare (după B. Ungurean, 2004)



a



b

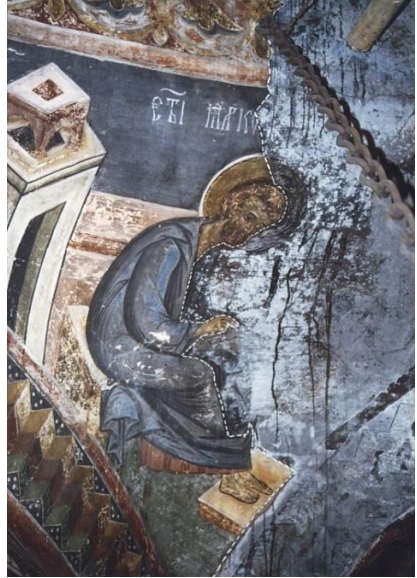
**Fig. 230 (a, b)**

Detaliu al unui pandantiv de la baza turlei înainte și după efectuarea operațiunii de curățare (după B. Ungurean, 2004).





**Fig. 231**



**Fig. 232**



**Fig. 233.**

Aspecte din timpul operațiunii de curățare etapizată – îndepărtarea depunerilor superficiale și aderente.

Suprafețele păstrează martorii de curățare care evidențiază gradul avansat de dezvoltare al agenților biodegradatori (după B. Ungurean, 2004).



**Fig. 234. Icoana restaurată**



## Bibliografie

Agrawal O.P, Shashi Dhawan, Garg K.I., 1989, *Microbial deterioration paintings – a review*, Intach Conservation Centre, Lucknow, India.

Alexander C., 1964, *Biochemical ecology of some microorganisms*, Ann. Rev. Microbiol., 18:217-252.

Ariño, X., Hernandez–Marine, C. Saiz-Jimenez, 2002, *Colonisation of cryptoendolithic niches in Roman mortars by phototrophic microorganisms*, Phycologia, 35: 183-189.

Axinte Loredana, 2012, *Aspecte privind conservarea unor biserici din lemn din județul Suceava împotriva atacului insectelor dăunătoare*, Teza de doctorat, Univ. „Al.I.Cuza” Iași.

Bordeianu Florentina–Adina, 2004, *Degradarea stratului pictural*, Lucrare de licență, Univ. „Al.I.Cuza” Iași.

Bravery A.F., 1991, *The Strategy for Eradication of Serpula lacrymans*, Ed. N.H. Jennings and A.F. Bravery.

Bucșa, L., Bucșa C., 2005, *Agenți de biodegradare la monumente istorice din România*, Ed. „Alma Mater” Sibiu.

Cañaveras J.C., Hoyos M., Sanchez-Moral S., Sanz-Rubio E., Bedoya J., Soler V., Groth I., Schumann P., Laiz L., Gonzalez I., Saiz-Jiménez C., (1999), *Microbial communities associated with hydromagnesite and needle-fiber aragonite deposits in a karstic cave (Altamira, Northern Spain)*, Geomicrobiol J 16:9-25.

Caneva G., Nugari M.P. and Salvadori O., 1991, *Biology in the conservation of works of art*, Rome, ICCROM, X+182 p.

Caneva G., Nugari M.P., Salvadori O., 1997, *La biologia nel restauro*, Nardini Editore.

Carey A. Francis, 1987, *Organic chemistry*, McGraw-Hill Book Company, New York, London.

Chiappini E., Liotta G., Reguzzi M.G., Battisti A., 2001, *Insetti e restauro legno, carta, tessuti, pellame, e altri materiali*, Calderini Edagricole, Bologna.

Dajoz R., 1970, *Précis d'Ecologie*, Dunod, Paris.

Daffonchio Daniele, Borin Sara, Zanardini Elisabeta, Abbruscato Pamela, Realini Marco, Uzi Clara, Srabini Claudia, 2000, *Molecular tools applied to the study of deteriorated artworks* In *Of Microbes and art, The Role of Microbial Communities in the Degradation and Protection of Cultural Heritage* „Edited by Ohio Ciferri, Piero Tiano, Giorgio, Kluwer Academic”/ Plenum Publishers. New York, p.21-38.

Danin A., 1992, *Biogemic weathering of marble monuments in Didim, Turkey, and in Traian`s column, Rome*, In Proc. 5<sup>th</sup> Intern. Conf. On Environm. Quality and Ecosystem Stability, Ierusalim, 675-681.

De Leo F., Urzi C., Hoog G.S., 1999, *Two new Coniodisporium species isolated from rock surfaces*, Stud. Bycol (in press).

De Wulf- Durrand P., Bryant L.J., Sly L.I., 1997, *PCR mediated detection of acidophilic, bioleaching – associated bacteria*, Appl. Curiron. Medieval. 63: 2944-2948.

Dornieden Th., Gorbushina A.A., Krumbein W.E., 1997, *Changes of the physical Buildings*, 3: 441-456.

Drăguț, Vasile Dobrovăț, 1984, *Conuri de artă din România*, Edit. Meridiane, București.

Drewello R., 1998, *Mikrobiel indezerte Korrasion von Silikateglass unter besonderer Berücksichtigung von Alkali – Erdolaki-Silicatglasern*, Thesis, Univ. Erlangen-Nürnberg.

Elton Ch., 1927, *Animal Ecology*, Sidgwick y Jackson.

Eppard M., Krumbein W.E, Koch C., Rhiel E., Staley J.T., Stackebrant E., 1996, *Morphological, physiological, and molecular characterization of actinomycetes isolated from dry soil, rocks, and monuments surfaces*. Arch., 166: 12-22.

Favali M.A., Gallo F., Maggi O., Mandrioli P., Pacini E., Pasquariello G., Piervittori R., Pietrini A.M., Ranalli G., Ricci S.,



Roccardi A., Sorlini C., 2003, *Analysis of the biological aerosol*, In *Cultural Heritage and Aerobiology*, Edited by Mandrioli, Giulia Caneva and Cristina Sabbioni, Kluwer Academic Publishers, p.145-172.

Florea Oprea, 2010, *Etiopatogenia operei de artă și a materialelor structurale*, Ed. Osim, București.

Florescu R., 1994, *Bazele muzeologiei*, Ministerul Culturii, București.

Fry E.J., 1924, *A suggested explanation of the mechanical action of lythophytic lichens on rock (shale)*, *Anal. Bot.*, 38: 175-196.

Gallo F., Pasquariello G., Valenti P., 2003, In *Cultural Heritage and Aerobiology*, Edited by Mandrioli, Giulia Caneva and Cristina Sabbioni, Kluwer Academic Publishers, p.173-193.

Gămălie G., 2005, *Coleoptere dăunătoare cărților*, a 7<sup>a</sup> Conf. Naț. pentru protecția mediului prin biotehnologie., 27-28 mai, 2005, Brașov, fasc. 2: 779-786.

Gămălie G., Mustăță M., 2006, *The Attack of Anobiids on Books from the Ecclesiastic Patrimony*, in *European J. of Science and Theology*, 2 (2): 77-83.

Gehrmann C.K., Krumbein W.E., Peterson K., 1988, *Silicicole and calcicole lichens on Jewish tombstones – Interactions with the environment and biocerosion*, *Studio biobot.* 8:33-45.

Giaocolini C., *Prospettive di riconoscimento di alcuni tipi di alterazione dei monumenti*, în *Atti del XXIX Congresso dell' ATI*, Firenze, 129-132.

Gilbert R.J., Lovelock D.W., 1975, *Microbial aspects of the deterioration of materials*, Acad. Press, London, New York.

Gorbushina, A. Anna, Jeroen Heryman, Jaris Hergert, Wolfgang E. Krumbein, Jean Swings, 2002, *Comparison of the microflora present on three severaly damaged mural paintings subjected to different climatic conditions*, 5<sup>th</sup> Symposium on the Conservation of monuments in the Mediteranean Basin, p. 5-8.

Gorbushina A.A., 1997, *Biological properties of marbal deteriorating fungi*. Ph. D. thesis, St. Petersburg.

Gorbushina A.A., Krumbein W.E., 1999, *The poikilotrophic microorganisms and its environments*, Microbiol. Strategies of establishment, growth and survival. In Enigmatic microorganism and life in extreme environments. J.S.Eckbach (ed.), Kluwer, Dordrecht, 177-185.

Hallbaner N.K., Johns H.M., 1977, *Attack of lichens on quartzitic rock surfaces*, Licheno logest, 9: 119-122.

Hennig Michael, 1958, 1960, 1964, *Handbuch für Pilz freunde*. Veb Gustav Fischer, Jena, vol.I, II, III.

Heryman Jeroen, Jans Hergert, Jean Swings, 2002, *Diversity of heterotrophic bacteria isolated from three European mural paintings*. Microbiology Letters, 181: 3-49.

Hickin N.E., 1964, *Household Insect Pests*, London, Hutchinson and Co.

Hinton H.E., 1956, *The larvae of the species of Tineidae of economic importance*. Bull. Ent. Res. 47: 251-346.

Hortopan Gabriela, 2005, *Licheni implicați în degradarea pietrei de la Biserica „Trei Ierarhi” Iași*, Teza de disertație, Univ. „Al.I. Cuza” Iași.

Hutchinson G.E., 1970, *The Biosphere*, Amer. Sci., 61:269-279.

Ioniță I., 1972, *Cauze biologice ale degradării operelor de artă și monumentelor istorice și unele măsuri de primire a acestora*. Comunicări și referate, Muz. Șt. Nat. Ploiești, 391-396.

Iskandon I.K., Syers J.K., 1972, *Metal complex formation by lichen compounds*, Journal of soil Science, 23: 255-265.

Istudor Ioan, 2007, *Noțiuni de chimia picturii*, Ed. a II-a, Daim Publishing Home, București.

Jain R., Sayler G.S., 1987, *Problems and potential for in situ treatment of environment pollutants by engineered microorganisms*. Microbiol. Sci, 4: 59-63.

Jones R.J., Wilson H.J., Tait J., 1980, *Weathering of a basalt by Pertusaria corallina* Lichenobiologist, 12: 277 – 278.

Knut Nicolaus, 1999, *The restauration of paintings*, Edit. Könemann.

Krumbein W.E., 1966, *Zur Frage der Gesteinsverwitterung (Über gerchimische und mikobiologische Bereiche des exogenen Dynamik)*. Inaugural dissertation, Üniversitaed Wuezburg.

Krumbein W.E., 1972, *Role de microorganismes dans la gènese, la diagnése et la dègradation des roches en place*, Rev. Ecol. Sol., 9:283-319.

Krumbein W.E., 1979, *Phototropic and chemoorganotrophic activity of bacteria and algae as related to beachrock formation and degradation (Gulf of Anglia, Sinai)*, Geomicrobial. J., 1:139-203.

Krumbein W.E., 1992, *L'Acropole-La dètèriorration des marbles*, Archèologie 280: 20-31.

Krumbein W.E. 1993, *Zum Begriff Patina, seimer Beziehung zu Kresten und Verfärbenger und deren Auswirkungen auf den Zustand von Monumenten*. In Steinzerfall Steinkonservierung, Snethlage, R (ed). Crnst und Sohn, Berlin, 215-229.

Laiz L., Groth I. Gonzales, Saiz-Jimenez C., 1999, *Microbiological study of the dripping waters in Altamiraceae (Santiliana del Har, Spain)*. J. Microbiol. Merh. 36: 129-138.

Laiz L., Cardell C., Rodriguez – Gardilo J., Saiz – Jimenez C., 2002, *Holotolerant bacteria in the efflorescenses of a deteriorated church* 36: 129-138.

Mandrioli Paolo, Caneva Giulia, Sabbioni Cristina, 2003, *Cultural Heritage and aerobiology*, Kluwer Academic Publishers, London.

Margolef Ramon, 1974, *Ecologia*, Editones Omega, S.A./ Casanova, 220/ Barcelona 11.

McNeill I.C., 1989, *In comprehensive polymer science*, vol.6, Ed. Eastmand.

Mellor E., 1924, *The decay of window glass from the point of view of the lichenous growth*, J. Soc. Glass Technol., 8:182-186.

- Mititiuc, M., 1995, *Micologie*, Univ. „Al.I.Cuza” Iași.
- Moldovan (Gămălie) G., 2007, *Insecte dăunătoare cărților și combaterea lor*. Teză de doctorat. Univ. „Al.I.Cuza” Iași
- Moldoveanu A., 2003, *Conservarea preventivă a bunurilor culturale*. București, Minist. Culturii și Cultelor (Ed. a 2-a), București.
- Moșneagu M., Mustață M., 2005, *Conservarea icoanelor și iconostaselor împotriva unor insecte dăunătoare*, a 7-a Conf. Naț. pentru Protecția Mediului prin Biotehnologii, Brașov, fasc. 2: 798-804.
- Moșneagu M., Mustață M., 2008, *Pests that harmed objects in the ethnography collection of the county museum in Huși*, Ann. Șt. Univ. „Al.I.Cuza” Iași, Biol: 223-232.
- Moșneagu Mina-Adriana, 2009, *Conservarea bunurilor de patrimoniu atacate de anobiide (Insecte, Coleoptera, Anobiidae)*. Teză de doctorat, Univ. „Al.I.Cuza” Iași.
- Mustață Gh., Mustață M., 1977, *Aspecte privind atacul unor insecte dăunătoare din Mănăstirea Frumoasa*, Cercet. Ist (serie nouă) vol. VIII, Muz. de Ist. A Moldovei, Iași, p.95-107.
- Mustață Gheorghe, Mustață Tiberiu-Georgian, 2001, *Ecologie somatică*, Edit. Junimea, Iași.
- Mustață Maria, 1993, *Proiect de expertizare, consolidare, restaurare și amenajare în zona de protecție a ansamblului Mănăstirii „Trei Ierarhi” Iași*, Realizat cu S.C. Habitat Proiect. S.A. Iași.
- Mustață Maria, 1994, *Contribuții la cunoașterea și combaterea coleopterelor dăunătoare obiectelor din Patrimoniul Cultural Național*, Teza de doctorat, Univ. „Al.I.Cuza” Iași.
- Mustață Mariana, 1998, *Insecte dăunătoare bunurilor de patrimoniu*, Ed. Univ. „Al.I.Cuza” Iași.
- Mustață M., Bratu G., Moșneagu M., 2006, *Starea de conservare a Bisericii „Pogorârea Sfântului Duh” Horodniceni, Suceava.*, Sesiunea Șt. de Lucr. „Ecologia și protecția ecosistemelor”, Bacău, (sub tipar).
- Mustață M., Mustață Gh., 2009, *Biologia în conservarea operei de artă*, Ed. Univ. „Al. I. Cuza” Iași.

- Niculescu Corina, *Muzeologie generală*, București.
- Nimis P.N., Pinna Damilla, Salvadori Ornella, 1992, *Lichemie conservation del monument*, Edit Bologna, 155 p.
- Odum E.P., Odum H.T., 1959, *Fundamentals of Ecology*, 2<sup>ed</sup> Saunders Co., Philadelphia and London.
- Oprea Florea, 2006, *Biologie pentru conservarea și restaurarea patrimoniului cultural*, Ed. Maiko, București.
- Opriș Ioan, 1986, *Ocrotirea patrimoniului cultural*, Edit. Meridiane, București.
- Pearson C. 1987, *Conservation of Marine Archaeological Objects*, Butterworths, London.
- Pietrini A.M., Bartolini, Giuliani M.R., 1985, *A reddish alteration caused by algae on stone works – preliminary studies in Conservation of Stone*, vol.2, p.653-662, Lausanne.
- Pinna D., Salnedori O., 1999, *Biological growth on Italian monuments restored with organic carbonatic compounds*. Of Microbes and Art. The Role of *Microbial* Communities in the Degradation and Protection of Cultural Heritage, Florence, Intern. Conf. On Microbiology and Conservation, p.149-154.
- Poper B., Kenneth Fennel, Dorothy I., 1968, *A mammal of the Penicillia*. Hofner Publishing Company, London.
- Rincón Juan Jóouregni, Gabrielle Ponce Andrade, Rafael Vázquez Dubolt, Refugio Rodriguez Vázquez, 2011, *Biodegradacion de Bakelita B. Adusta 7308*, Unidad de Estudios Avanzados Ciudad Universitat.
- Ripka Katrin, 2005, *Identification of microorganism on stone mural painting using molecular methods*. Diplomarbeit, Univ. Viena.
- Rölleke S., Witte A., Wanner G., Lubitz W., 1998, *Medieval wall paintings – a habitat for Archold: identification of Archaea by denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE) of PCR – amplified gene fragments codind for 16 Sr RNA în medieval wall paiting*. Int. Biodet. Biodegr. 41: 85-92.

Rölleke S., Myzer G., Wover C., Wanner G., Lubitz W., 1996, *Identification of bacteria in a biodegraded wall painting by denaturing gel electrophoresis of PCR - amplified gene fragments coding for 16 Sr DNA*. Appl. Environ. Microbiol. 62: 2059-2065.

Rölleke Sabine, Gurtner Claudia, Pinar Guadalupe, Lubitz Werner, 2000, *Molecular approaches for the assessment of microbial deterioration of objects of art* In Of Microbes and art, Edited by Ohio Ciferri, Piero Tiano, Giorgio, Kluwer Academic/ Plenum Publishers. New York, p.39-48.

Saiz- Jimenez C., 1997, *Biodeteration vs biodegradation: the role of microorganisms in the nemoral of the pollutants deposited onto historic buildings*. Int. Biodet. Biodegr. 40: 225-232.

Sandu G. Ioan, Dima Adriana, 2006, *Aspecte moderne privind conservarea bunurilor de patrimoniu*, vol. III. Autentificarea și restaurarea artefactelor din materiale organice, Edit. Performantica.

Sandu Ioan, 2007, *Aspecte moderne privind conservarea bunurilor de patrimoniu*, vol.V. Identificarea materialelor picturale, Edit. Performantica.

Șerbănescu-Jitariu C., Toma C., 1980, *Morfologia plantelor*, Edit. did. și ped. – București.

Seves Anna Maria, Maria Romano, Tullia Maifreni, Silvio Sora, Orio Ciferri, 1998, *The microbial degradation of silk: a laboratory investigation*, Int. Biodeterioration and Biodegradation, 42:121-134.

Seves Anna Maria, Maria Romano, Tullia Maifreni, Alberto Seves, Giovanna Scicolone, Silvio Sora și Orio Ciferri, 1999, *A laboratory investigation of the microbial degradation of cultural heritage*. In of Microbes and art. The role of Microbial Communities in the Degradation and Protection of Cultural Heritage. Edited by O.Ciferri, P.Tiano, G. Mastromei, Kluwer Academic/Plenum Publishers, p.121-134.

Simionescu Viorica, 1980, *Ecologie*, Edit. Univ. „Al. I. Cuza” Iași.

Simionescu Adam, Mihalache Gh., 2000, *Protecția pădurilor*, Regia Națională a Pădurilor.

Sterflinger K., Krumbein W.E., 1997, *Dematiaceous fungi as a major agent for biopitting on Mediterranean marbles and limestones*, Geomicrobiol. J., 14: 219, 21 – 230.

Sterflinger K., Ne Boem R., GHoog.S., De Wachter R., Krumbein W.R., Gasse H., 1997, *Conidiosporium perforans and C. apollinis*, two rock – inhabiting fungi isolated from marble in the Sanctuary of Delos (Cyclades, Greece). Anton van Leeuwenhoek 72: 349-363.

Sun H.J., Friedmann W.E. 1999, *Growth on geological time scales in the antarctic cryptoendolithic microbial community*. Geomicrobiol. J., 16: 193-202.

Tănase Cătălin, Mititiuc Mihai, 2001, *Micologie*, Edit. Univ. „Al.I.Cuza” Iași.

Tănase Cătălin, Seșan Tatiana-Eugenia, 2006, *Concepte actuale în taxonomia ciupercilor*, Ed. Univ. „Al.I.Cuza” Iași.

Toma C., Butnaru R., Rozmarin Gh., 1975, *Studiul chimiei lemnului și ameliorarea proprietăților lui*, vol. I, Institutul Politehnic Iași.

Toma C., Niță M., 2000, *Celula vegetală*, Ed. Univ. „Al.I.Cuza” Iași.

Toma C., Gostin I., 2000, *Histologie vegetală*, Ed. Junimea, Iași.

Toma C., Toma I., Ivănescu L., *Comparative anatomy of Pinus. L. Species*, An. St. Univ. „Al.I.Cuza” Iași, s.a. II-a, (Biol. veg.), 49:1-10.

Tonolo and Giacobini (1958) citați de O. P. Agraval, Shashi Dhawan, K. L. Garg în *Microbial Deterioration of Paintings: A Review*, NRLC, Lucknow (India), 1989.

Ungurean B., 2010, *Insecte xilofage implicate în biodegradarea bunurilor de patrimoniu confecționate din lemn și expuse în natură*, în Artă și conservare în actualitate: Simpozionul Conservare-restaurare și

arte aplicate - Centrul de Cercetare CRCART Iași, Ed. Artes Iași, p.146-148.

Ungurean Bogdan, 2004, *Efectele complexului etiopatogenic în degradarea bunurilor de patrimoniu. Implicații practice- biodeteriorarea frescelor și al pietrei de la Biserica Mănăstirii Popăuți, Botoșani*, din lucrarea de disertație, Univ. „Al.I.Cuza” Iași.

Ungurean Bogdan, 2004, *Efectele complexului etopatogenic în degradarea bunurilor de patrimoniu. Implicații practice – biodeteriorarea frescelor și pietrei de la Biserica Mănăstirii Popăuți, Botoșani*. Lucrarea de disertație, Univ. „Al.I.Cuza” Iași.

Ungurean Bogdan, 2010, *Conservarea bunurilor de patrimoniu confecționate din lemn și expuse în natură împotriva atacului insectelor dăunătoare*. Teză de doctorat, Univ. „Al.I.Cuza” Iași.

Ungurean Bogdan, 2011, *Conservarea bunurilor de patrimoniu confecționate din lemn și expuse în natură, împotriva atacului insectelor dăunătoare*, Edit. ARTES, Iași.

Urzi Clara, Filomena De Leo, Sybren de Hoog, Katya Sterflinger, 1999, *Recent advances in the molecular biology and ecophysiology of meristematic stones- in hosting fungi*. In *Of Microbes and Art. The Role of Microbial Communities in the Degradation and Protection of Cultural Heritage*, edited by O. Ciferri, P. Tiano & G. Mastromei. Kluwer Academic: p.3-20.

Urzi. C, Schman P., Stockrbrandt E., 1999, *Marmoricola auranticus gen. nov., sp. nov. a coccoid member of the family Nzocardioides isolatie from a marble Statue Inst. J. Syst. Medieval*. (subwritted).

Van Krevelen D.W, 1976, *Properties of Polymers*, Ed. Elsevier, Amsterdam.

Wakefield D. Rachel, Melanie I. Jones, Jeff Wilson M., Maureen E. Young, Keith Nicholson, Dennis, C.I. Urquhart, 1996, *Investigation of decayed sanstone colonised by a species of Trentepohlia*, *Aerobiologia* 12:19-25.



Zammit Gabriella, Daniela Billi, Eliot Shubert, Jan Kästov, Patricia Albertano, *The Biodiversity of subaerophytic biofilms from Malta hypogea.*

Zanordini E., Ardeoni V., Barin S., Cappitelli F., Daffonchio D., Talotta P., Sorlini C., Ranali G., Bruni S., Carioti F., 1997, *Lead-resistant microorganisms from red stains of marble of the Certosa Paria, Italy and use of nucleic acid-based techniques for their detection.* Int. Biodet. Biodegr. 40: 171-182.

Zarnea G., 1984, *Tratat de microbiologie generală*, vol. II, ed. Academiei RSR, București.

Zarnea G., 1994, *Microbiologie generală*, vol. IV, Ed. Academiei Române.



## Sumar

Prefață .....	3
Introducere .....	7
Biodeteriorarea patrimoniului .....	17
Biodegradarea ca fenomen natural .....	27
Microclimat și microhabitate .....	39
Temperatura .....	43
Influența temperaturii asupra ciclului biologic al speciilor ....	47
Preferendumul termic al organismelor .....	53
Măsurarea temperaturii .....	54
Efectele căldurii .....	55
Efectul dilatației și contracției termice .....	56
Evaporarea .....	57
Deshidratarea .....	57
Căldura specifică .....	58
Fenomenul de termoforeză .....	58
Temperatura de culoare a surselor .....	59
Temperatura ca factor ecologic .....	60
Umiditatea .....	67
Influența umidității asupra organismelor .....	71
Fenomenul de delicvescență .....	77
Eflorescența .....	78
Igrasia .....	80
Infiltrațiile și inundațiile .....	82
Acțiunea apei la îngheț-dezgheț .....	83
Efectul de cameră umedă .....	84
Efectele negative ale umidității scăzute .....	85
Lumina .....	91
Sursele de lumină .....	97

Influența luminii asupra organismelor .....	99
Efectele luminii asupra operei de artă .....	102
Lumina ca energie de activare (Ea) .....	103
Măsurarea luminii .....	109
Încărcarea microbiologică a aerosolilor .....	111
Îmbătrânirea obiectelor de patrimoniu și atacul agenților biodeterioratori .....	115
Biofilmele bunurilor de patrimoniu, sau patina timpului .....	119
De la biofilm la bioderma vegetală .....	133
Acțiunea biopatinelor asupra rocilor și a marmurei .....	149
Fenomenologia alterărilor biologice .....	155
Cauciucul natural .....	156
Biodeteriorarea cauciucului .....	159
Biodegradarea celulozei .....	162
Degradarea polimerilor .....	165
Biodeteriorarea sticlei .....	171
Biodeteriorarea metalelor .....	173
Degradarea microbiană a substanțelor xenobiotice .....	175
Degradarea biologică a pietrelor, marmurei, gresiilor .....	178
Fungi meristematici care atacă pietrele și marmura .....	181
Biodeteriorarea lânii .....	184
Biodeteriorarea încălțăminteii .....	185
Biodeteriorarea țesăturilor .....	186
Biodeteriorarea lemnului .....	203
Structura peretelui celular .....	203
Compoziția chimică a lemnului .....	206
Structura primară a tulpinii .....	207
Structura secundară a tulpinii .....	208
Anomalii și defecte ale lemnului .....	213
Biodeteriorarea lemnului de către ciuperci .....	214
Succesiunea speciilor în degradarea lemnului .....	232
Biodeteriorarea lemnului în medii acvatice .....	234

Biodegradarea lemnului de către bacterii și insecte.....	235
Biodeteriorarea produsă de insecte cărților, papirusului, pergamentului și altor produse organice .....	267
Alterarea biologică a materialelor .....	293
Picturile și biodeteriorarea lor .....	299
Elementele componente ale substratului pictural .....	300
Vopselele .....	300
Adezivii naturali .....	302
Lacul oriental .....	306
Rășinile .....	307
Polimerii și rășinile ca sursă de hrană pentru microorganisme	311
Degradarea stratului pictural .....	313
Degradări ale peliculei de protecție .....	318
Craclurile .....	322
Depunerile de suprafață .....	328
Factorii biotici care atacă picturile provocând fenomene de biodeteriorare .....	331
Biodeteriorarea picturilor murale .....	335
Microorganisme autotrofe și heterotrofe izolate din diferite picturi murale (prelucrare după Agrawal et. al 1989) .....	341
Aspecte privind biodeteriorarea picturilor murale de la Biserica Mănăstirii Popăuți – Botoșani.....	345
Bibliografie .....	371
Sumar .....	383