

UNIVERSITATEA BUCUREȘTI
FACULTATEA DE GEOLOGIE ȘI GEOFIZICĂ

**DEGRADĂRI SPECIFICE ALE PIETREI
ȘI TRATAMENTUL ADECVAT AL ACESTORA
ÎN CAZUL PATRIMONIULUI ROMÂNESC**

TEZĂ DE DOCTORAT

REZUMAT



Autor: Drd. Iulian Daniel Olteanu

Coordonator științific: Prof. dr. Marin Șeclăman

BUCUREȘTI
2011

Introducere

Pe plan internațional, interesul actual pentru piatra din monumente este considerabil. Dovada elocventă sunt congresele internaționale periodice, pe tema deteriorării și conservării pietrei, unde sunt dezbătute probleme cum ar fi: mecanisme ale deteriorării pietrei; factori externi ai degradării; degradarea biogenă; metode și tehnici de laborator în analiza pietrei și a produșilor de degradare; evaluarea în situ a degradării; conservarea pietrei; studii de caz ale patrimoniului cultural.

Numeroșii specialiști implicați în această problemă fac apel la diferite științe – geologie (în special petrografie, mineralogie și geochimie), geofizică, chimie, fizică, biologie, dar și la numeroase cunoștințe tehnice și ingineresti, mai ales când se prelungește abordarea până la intervenția pe piatră degradată. Prin urmare, a aborda piatra din edificiile de patrimoniu este echivalent cu a păși într-un câmp interdisciplinar de o vastitate copleșitoare, pe care s-au clădit sute de lucrări științifice, cu subiecte nu doar punctuale, dar și manuale sau lucrări de sinteză.

Este indiscutabil că fenomenul de degradare nu poate fi înțeles fără cunoașterea compoziției mineralogice și structurale a rocii în cauză. În nici un caz nu se poate vorbi de o degradare la modul general, atunci când abordăm un edificiu de patrimoniu sau un obiect de artă concret. Prin mai multe studii de caz, m-am străduit să ofer o metodologie de studiu a rocilor din câteva edificii de patrimoniu de la noi din țară, care să constituie punctul de plecare a unei eventuale intervenții de restaurare. Mai mult decât atât, am oferit chiar și un model de restaurare a unui edificiu de patrimoniu din București, în care componenta litică deține un rol important.

În această teză, am folosit o terminologie complexă. Cei mai mulți termeni sunt deja consacrați sau au un înțeles care rezultă automat din context. Doar o parte dintre ei, care se referă la degradarea pietrei, sunt listați și explicați într-un glosar special. Referitor la termenul “piatră”, echivalentul cuvântului “stone” din engleză, fac precizarea că l-am folosit ca fiind sinonim cu termenul științific de “rocă”, iar prin “component litică”(sau “componentă litică”) a unui edificiu am desemnat acea parte din edificiu alcătuită din piatră.

Pentru elaborarea tezei am efectuat diverse investigații de laborator, după cum urmează: examen microscopic în secțiuni subțiri; examen microscopic al pulberilor; examen microscopic al produsului de precipitare pe lame transparente; examen stereomicroscopic pe probe de cruste și eflorescențe; difractometrie în RX, pentru determinarea mineralelor argiloase și a celor zeolitice; analize de fluorescență RX; analize chimice; determinări ale speciilor de alge și fungi din biocruste. Exceptând ultimele două tipuri de analiză, toate celelalte au fost efectuate cu aparatura existentă în laboratoarele Departamentului de Mineralogie al Facultății de Geologie și Geofizică, Universitatea din București.

Cuprinsul integral al tezei

Introducere

Capitolul 1.

Tipuri petrografice existente în componentele litice din construcțiile de patrimoniu ale României

- 1.1. Privire generală
- 1.2. Tipuri de roci magmatice
- 1.3. Tipuri de roci sedimentare
- 1.4. Tipuri de roci metamorfice

Capitolul 2.

Degradarea pietrei după punerea în operă

- 2.1. Generalități
- 2.2. Deformările mecanice ale rocilor
- 2.3. Alterarea chimică a mineralelor din roci
 - 2.3.1. Principalii agenți de alterare chimică

- 2.3.2. Alterarea mineralelor carbonatice
- 2.3.3. Alterarea feldspaților
- 2.3.4. Alterarea silicaților feromagnezieni
- 2.3.5. Alterarea sulfurilor
- 2.4. Dizolvarea și reprecipitarea congruentă a mineralelor
- 2.5. Dezagregarea
- 2.6. Biodegradarea
- 2.7. Forme particulare de acoperire a suprafeței rocii ca urmare a degradării
 - 2.7.1. Acoperire cu crustă neagră
 - 2.7.2. Acoperire cu crustă carbonatică
 - 2.7.3. Acoperire cu eflorescențe de săruri
 - 2.7.4. Acoperire cu pete (pătarea suprafeței)
 - 2.7.5. Alte degradări superficiale
- 2.8. Considerații asupra vitezei de creștere a crustei de alterare
- 2.9. Releveul petrografic și al degradării rocilor din monumente

Capitolul 3.

Examinarea rocilor și a stării lor de degradare din câteva edificii sugestive ale patrimoniului românesc

- 3.1. Ansamblul sculptural Poarta Sărului (Târgu Jiu).
 - 3.1.1. Descrierea petrografică
 - 3.1.2. Degradarea travertinului din “Poarta Sărului”
 - 3.1.3. Releveul petrografic și al degradării rocii din monument
- 3.2. Statuile de pe fațada principală a Palatului de Justiție din București
 - 3.2.1. Descrierea petrografică
 - 3.2.2. Degradarea marmurei din statui
- 3.3. Piatra din portalul Muzeului Brukenthal, Sibiu
 - 3.3.1. Descrierea petrografică
 - 3.3.2. Forme de degradare ale rocilor din portal, după punerea lor în operă
- 3.4. Piatra din ansamblul arhitectonic al Palatului Elisabeta, București
 - 3.4.1. Tuful vulcanic
 - 3.4.2. Varietățile de calcar
- 3.5. Componentele litice din edificiul Mănăstirii Stavropoleos, București
 - 3.5.1. Caracteristicile microscopice ale rocilor
 - 3.5.2. Starea de degradare a rocilor din edificiul Bisericii Stavropoleos

Capitolul 4.

Tratamente specifice intervenției de conservare – restaurare a pietrei degradate

- 4.1. Curățarea
 - 4.1.1. Considerații generale
 - 4.1.2. Agenți și metode disponibile pentru curățare și modul lor de acțiune
 - 4.1.3. Curățarea crustelor anorganice și a eflorescențelor saline de pe suprafața pietrei
 - 4.1.4. Curățarea depunerilor de praf
 - 4.1.5. Curățarea depunerilor organice
 - 4.1.6. Îndepărtarea acoperirilor antropogene
 - 4.1.7. Tratarea biodeteriogenilor și curățarea pietrei de biocruste
- 4.2. Consolidarea pietrei degradate
 - 4.2.1. Scopul consolidării
 - 4.2.2. Substanțe folosite pentru consolidarea pietrei
 - 4.2.2.1. Consolidanți mineralici
 - 4.2.2.2. Consolidanți și adezivi pe bază de polimeri sintetici

- 4.3. Mortarele în restaurarea componentelor litice
- 4.4. Retușul cromatic și valorificarea estetică
- 4.5. Protecția pietrei după tratament
- 4.6. Măsuri de supraveghere, întreținere și monitorizare

Capitolul 5.

Studiu integrat. Edificiul Banca Națională a României

- 5.1. Petrografia componentelor litice din edificiu
- 5.2. Degradarea calcarului din edificiul Băncii Naționale
 - 5.2.1. Procese de degradare
 - 5.2.2. Releveul degradării Băncii Naționale a României, fațada principală, str. Lipscani
- 5.3. Intervenții de conservare – restaurare realizate la Banca Națională
 - 5.3.1. Curățarea suprafețelor
 - 5.3.1.1. Tratamentul de biocidare și îndepărtare a crustelor de licheni
 - 5.3.1.2. Îndepărtarea depunerilor slab aderente
 - 5.3.1.3. Îndepărtarea petelor aderente de vopsea (ulei)
 - 5.3.1.4. Îndepărtarea crustelor minerale consistente
 - 5.3.1.5. Eliminarea sărurilor solubile de pe suprafețe și extragerea lor din calcar
 - 5.3.1.6. Îndepărtarea chituirilor și plombărilor necorespunzătoare
 - 5.3.2. Consolidarea zonelor superficiale friabile
 - 5.3.3. Tratarea fisurilor și fixarea / replantarea desprinderilor
 - 5.3.4. Chituiți, plombări și reconstrucții volumetrice
 - 5.3.5. Retușul cromatic și valorificarea estetică
 - 5.3.6. Tratamentul protectiv de hidrofobizare
- 5.4. Aspecte comparative: înainte și după intervenția de conservare- restaurare
- 5.5. Releveul intervențiilor

Capitolul 6. Concluzii

Bibliografie

Capitolul 1. Tipuri petrografice existente în componentele litice din construcțiile de patrimoniu ale României

Începând din antichitate și până în epoca modernă, piatra a constituit un important material de construcție, regăsindu-se atât în componentele de rezistență ale edificiilor, cât și în decorațiile interioare sau exterioare ale acestora. Mult timp, utilizatorul căuta și selecta piatra în baza unor proprietăți empirice, compatibile cu scopul urmărit, cum ar fi culoarea, duritatea, compactitatea, rezistența la intemperii etc. De aceea, multe mii de ani, denumirile pietrelor au fost locale, și deci foarte diferite de la o populație la alta. În petrografia modernă, criteriul de bază în desemnarea tipurilor și varietăților petrografice îl constituie compoziția mineralogică și *fabric*-ul petrografic. Prin urmare, termenii petrografici pe care îi vom folosi în această lucrare vor fi cei consacrați în petrografia modernă, evitându-se pe cât posibil terminologia populară imprecisă, pe care o găsim în documentele istorice.

O inventariere completă a tuturor tipurilor petrografice existente sub formă de componente litice în edificiile de patrimoniu de pe teritoriul României, este încă departe de a fi realizată și, în această privință, nu sunt încă lucrări publicate. Mai mult decât atât, sunt încă numeroase monumente antice și medievale, chiar și clădiri de patrimoniu moderne ale căror componente litice nu sunt studiate sub aspect petrografic. De aceea, în cele ce urmează, sintetizăm doar datele pe care autorul le are la dispoziție, provenite în mică parte din literatura istorică și în cea mai mare parte din observațiile in situ efectuate de autor, în colaborare cu specialiști petrografi, pe diverse componente litice ale edificiilor de patrimoniu național.

Tipuri de roci magmatice

Andezitele. Aceste roci au fost folosite pe teritoriul României încă din antichitate. Dacii le-au utilizat în edificiile sanctuarelor de la Grădiștea de Munte, unde se regăsesc sub formă de discuri, sectoare de discuri sau coloane. În Transilvania, andezitele au continuat să fie folosite, cu intermitențe, pe tot parcursul evului mediu, de preferință ca piatră de construcție, pe când în zona extracarpatică, nici anticii și nici medievalii nu au folosit aceste tipuri de roci. Abia în epoca modernă, rocile andezitice au căpătat o largă utilizare, pe tot teritoriul actual al României.

Bazaltele. Se pare că nici dacii și nici romanii nu au utilizat aceste roci, însă, în evul mediu, bazaltele, ca cele de la Racoș, au fost sigur utilizate. Astfel, aceste roci apar sporadic, în special ca moloane cioplite în portalurile unor biserici medievale din Ardeal, ca de exemplu, cele din zona Homorod.

Tufurile vulcanice. Nu avem dovezi ca aceste roci au fost utilizate de antici pe aria României. Începând însă cu evul mediu, tufurile zeolitizate de vârstă miocenă, din Transilvania, fiind ușor prelucrabile, au fost folosite în numeroase construcții monumentale laice sau religioase.

Tipuri de roci sedimentare

Rocile sedimentare carbonatice, cu numeroasele lor varietăți structurale și compoziționale (calcare bioconstruite, calcare bioacumulate, tufuri calcaroase, travertine etc.), sunt foarte răspândite în edificiile de patrimoniu. În zidurile cetăților dacice s-au folosit moloane de calcar poros cu bioclaste. Aceleași tipuri de calcare se regăsesc și în ruinele de la Sarmisegetuza Romană. Pe tot parcursul evului mediu, atât în aria intracarpatică, cât și în cea extracarpatică, rocile calcaroase au fost frecvent folosite ca piatră de construcție în zidurile cetăților, ale palatelor și bisericilor, în portalele și ancadramentele ferestrelor bisericilor, în pietrele funerare etc.

Gresiile. După calcare, gresiile ocupă al doilea loc în ceea ce privește spațiul, timpul și frecvența utilizării în edificiile de patrimoniu național, fiind prezente mai în toate lăcașurile de cult medieval din România, atât în componentele arhitecturale ale bisericilor, cât și în pietrele funerare.

Alabastrul. Această rocă gipsiferă, holocristalină și uniform granulară, a fost utilizată pe o scară foarte redusă. Cel mai probabil alabastrul a fost importat, având în vedere faptul că se găsește doar în câteva clădiri monahale.

Tipuri de roci metamorfice

Marmura. Frumusețea acestei roci metamorfice a atras atenția artiștilor plastici din toate timpurile. Totuși, se pare că dacii nu au folosit deloc marmura, deoarece în cetățile dacice nu s-au semnalat elemente litice de această natură petrografică. În schimb, romanii de pe teritoriul Daciei au folosit marmura pe scară largă, extrăgând-o din zăcămintul de la Rușchița.

În zona Dobrogei, marmura a fost folosită atât de greci, cât și de romani, fiind adusă preferențial din zona Marmara și din insulele Cyclade. În evul mediu, în toate provinciile românești, marmura este prezentă în diverse componente litice din biserici, castele, statui, morminte, cruci, obeliscuri etc. În epoca modernă, marmura este prezentă aproape în toate construcțiile monumentale din marile orașe ale României.

Alte roci metamorfice. În zonele central-carpatică, există arii întinse de roci metamorfice, cu numeroase tipuri de roci silicatică: gnaise, micașturi, amfibolite, cuarțite etc, cu structuri anizotrope de tip planar sau planar-liniar. Aceste roci se pot despica în plăci și apar frecvent în cetățile antice, dacice sau romane, sub formă de blocuri, în zidurile de fundație sau ca piatră de pavaj. În zidurile multor biserici și cetăți medievale, se găsesc destul de frecvent blocuri din roci metamorfice silicatică. Este de asemenea de remarcat faptul că, fragmente din aceste roci metamorfice, singure sau în asociere cu alte tipuri petrografice, au fost utilizate atât în antichitate, cât și pe tot parcursul evului mediu, ca agregat esențial în mortarele de var.

Capitolul 2. Degradarea pietrei după punerea în operă

După punerea în operă, blocurile de piatră intră într-un proces ireversibil de transformare, cu viteze variabile, funcție de natura rocii și de noile condiții în care se află. **Degradarea** se poate manifesta fie ca o schimbare a proprietăților intrinseci ale rocii, fie ca o modificare a integrității și morfometriei corpului litic. Așa cum rezultă din literatura de specialitate, dar și din propriile observații, degradarea rocilor puse în operă este deseori o însumare de efecte ale mai multor *procese elementare*, diferite între ele prin cauze, efecte și mecanisme de desfășurare. Unele sunt pur mecanice, cu efecte ușor de evidențiat macroscopic, afectând doar forma și integritatea geometrică a obiectului litic. Altele, mai subtile, afectează chiar esența mineralogică și structurală a tipului petrografic. În teză, am tratat specificul acestor procese elementare, grupându-le astfel încât să permită reliefaarea cât mai precisă a cauzelor, mecanismelor și efectelor fiecărui proces elementar.

Deformările mecanice ale rocilor

Sub acțiunea unui efort (stress), rocile tari trec succesiv prin stările de deformare elastică, ductilă și casantă, pe măsura creșterii forței aplicate. Deformările ductile, care duc la schimbarea sensibilă a formei corpurilor litice, după punerea lor în operă, sunt fenomene rare. Mult mai frecvente sunt deformările casante și se manifestă prin apariția fisurilor sau fracturilor. Fracturile sunt forme mai severe ale deformării casante, implicând uneori o deplasare relativă a pereților și implicit o fragmentare a corpului petrografic. Cauza deformării casante a rocilor tari este apariția unei tensiuni care depășește rezistența la rupere a rocii. În unele cazuri, fisurile existau deja într-o formă ascunsă, așa-numitele *fisuri criptice*, dar care s-au deschis ulterior, după punerea în operă. Destul de frecvent, tensiunile deformaționale sunt de natură termogenă, fiind cauzate de oscilațiile termice. Valoarea tensiunii termogene (τ) este controlată de modulul de elasticitate (E) al rocii, de coeficientul de dilatare liniară (λ) al acesteia și de oscilația termică (ΔT) la care este supusă roca:

$$\tau = E \cdot \lambda \cdot \Delta T.$$

Pentru rocile comune, modulul de elasticitate, E, este de ordinul 10^7 kg/cm², iar λ oscilează între aprox. $3 \cdot 10^{-6}$ – $12 \cdot 10^{-6}$ m/m °C și deci, încălzirea cu 1 °C a unei roci comune poate provoca o tensiune de circa 8 kg/cm². De aici rezultă că oscilațiile termice repetate, cu amplitudini de ordinul a 20 – 40 °C, cum sunt uneori cele diurne, sunt deja în măsură să genereze tensiuni de rupere perpendiculare pe suprafața rocii expusă, ducând, în final, la fenomenul de *cojire* termogenă.

Alterarea chimică a mineralelor din roci

Principalii agenți de alterare chimică

Agenții transformatori sunt, de fapt, componenții chimici ai atmosferei și ai soluțiilor apoase lichide, care vin în contact cu piatra. Aceștia sunt: O₂, H₂O, CO₂, SO₂, NO₂ etc, dar mai ales acizii H₂SO₄, H₂CO₃, H₂C₂O₂, etc. Componenții acizi din apa lichidă sunt mereu prezenți și sunt cunoscuți ca fiind cei mai agresivi pentru o paletă largă de minerale carbonatice și silicatică. Totuși, agresivitatea oricărui dintre agenții chimici menționați se manifestă doar dacă concentrațiile lor în soluția în care se află (gazoasă sau lichidă) depășesc anumite praguri, ceea ce se realizează, de fapt, în mediile pe care le considerăm a fi poluate. În edificiile de patrimoniu de pe teritoriul României, agenții chimici care au contribuit cel mai mult la alterarea mineralelor din roci au fost / sunt apa, CO₂, O₂, oxizii de sulf, oxizii de azot, HCl și HF.

Alterarea mineralelor carbonatice

Carbonații sunt principalele minerale din calcare și marmure, fiind de asemenea prezenți în diferite varietăți de gresie, fie în cimentul acestora, fie în granulele clactice. Dintre carbonați, mineralul cel mai frecvent este calcitul, urmat de dolomit, dar în unele edificii, rocile carbonatice conțin și

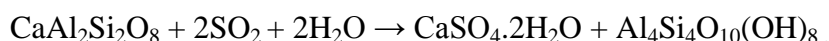
proporții reduse de ankerit și foarte rar aragonit și siderit. În atmosfera umedă și poluată cu SO₂, se formează H₂SO₄, care intră în reacție cu calcitul, formându-se gips. Ankeritul, în cazul că este prezent în rocă, cedează ușor sub acțiunea apei și oxigenului, transformându-se în calcit și hidroxizi de fier.

Alterarea feldspaților

Atât feldspatii alcalini (potasici și sodo-potasici), cât și cei plagioclazi (cristalosoluția albit-anortit), în condițiile exogene, sunt instabili și se descompun cel mai adesea prin hidroliză, dacă vin în contact cu apa. În final, pe seama feldspaților se formează filosilicați micro și criptocristalini, desemnați prin termenul colectiv de *minerale argiloase*. În moloanele de roci andezitice din cetățile dacice, care au stat în condiții de climat temperat timp de două milenii, feldspații plagioclazi de pe suprafața moloanelor au un grad de transparență evident mai redus decât cristalele din profuzimea molonului, fiind dovada directă că hidroliza a acționat după extragerea din carieră a pietrei. În condiții urbane, alterarea feldspaților plagioclazi pare să fie cu mult mai rapidă. De pildă, în moloanele de andezit din Arcul de Triumf (București), feldspații plagioclazi, asemănători compozițional cu cei din moloanele dacice, au în unele zone ale monumentului un grad mult mai avansat de alterare, deși de la punerea lor în operă și până astăzi nu au trecut nici măcar 100 de ani. Pentru feldspații alcalini, reacția are forma



iar pentru anortitul din feldspatul plagioclaz reacția este:



Se constată că, în prezența poluanților SO₂ și CO₂, viteza alterării feldspaților în rocile puse în operă poate crește chiar și de o mie de ori, față de hidroliza pură, în lipsa acestor poluanți.

Alterarea silicaților feromagnezieni

Principalii silicați feromagnezieni din roci sunt olivinele, piroxenii, amfibolii și biotitul. În edificiile de patrimoniu din țara noastră, rocile bogate în astfel de minerale sunt foarte rare (ca de ex. bazaltele olivinice, prezente în câteva portale de biserici din Transilvania). Totuși, în cantități mai reduse, mineralele feromagneziene apar mai în toate rocile magmatice, în asociere cu feldspații. Conținând Fe²⁺ și Mg, aceste minerale, puse în condiții exogene, sub influența agenților O₂ și CO₂, se descompun în oxizi / hidroxizi de fier, carbonați și diverse forme (amorfe sau criptocristaline) de silice. Viteza acestor transformări în condițiile urbane de la noi nu este încă estimată, neavând încă suficiente puncte de observații in situ. Se poate totuși admite că, printre factorii care reglează viteza de alterare a mineralelor feromagneziene, un rol important îl au umiditatea la suprafața rocii și proporția Fe/Mg în mineralul feromagnezian.

Accidental, în rocile puse în operă există diverse minerale, mai mult sau mai puțin alterabile în noile condiții. Printre acestea, sulfurile purtătoare de fier (pirita, marcasita, calcopirita) pot să apară sub formă de cuiburi sau cristale izolate. Ele sunt extrem de vulnerabile în prezența apei și oxigenului, dând naștere, pe de o parte, la oxizi / hidroxizi de fier (frecvent cu structuri criptocristaline și coloidale) insolubili în apă, iar pe de altă parte, la acid sulfuric, solubil în apă. În rocile carbonatice, o astfel de transformare a sulfurilor de fier este evident dăunătoare, dată fiind agresivitatea acidului sulfuric față de carbonați.

Dizolvarea și reprecipitarea congruentă a mineralelor

Mineralele tipice care manifestă o dizolvare congruentă în apă sunt calcitul (prezent în toate rocile carbonatice) și gipsul (principalul constituent în alabastru și al crustelor negre).

Solubilitatea în apă a acestor două minerale este controlată de temperatură și de pH-ul apei. La pH constant, solubilitatea maximă este la temperatura de îngheț a apei. De aceea, apa lichidă rezultată din topirea zăpezii este mai eficientă în procesul de dizolvare a carbonților și sulfatilor, decât apa de ploaie mai caldă, din anotimpurile călduroase. Este bine cunoscut faptul că în plus, solubilitatea carbonatului de calciu din calcare și marmure crește cu concentrația CO_2 în apă, care favorizează conversia CaCO_3 , greu solubil, în $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, ușor solubil. Totuși, masa dizolvată dintr-un molon de roci carbonatice este controlată nu atât de solubilitate, cât de fluxul / debitul de apă care se scurge pe suprafața acestor roci. Un debit mare de apă caldă, mai săracă în CO_2 , poate genera o dizolvare mult mai severă decât un debit redus de apă rece, relativ bogată în CO_2 . În cazul debitelor mari de apă, mai ales în zonele cu fluxuri canalizate, care spală o anumită unitate de suprafață timp îndelungat, se pot îndepărta mase importante din componentul litic. Pierderea de masă, pe această cale, este un caz particular de erodare a obiectelor litice, respectiv “*erodarea prin dizolvare*”. Dacă apa de pe suprafața rocii carbonatice / sulfatice este staționară sau are o viteză de scurgere foarte redusă, atunci, prin evaporare, ea se suprasaturează și carbonatul / sulfatul se reprecipită chiar pe același suport care anterior fusese dizolvat. Procesul se petrece frecvent pe suprafețele orizontale sau în formele negative (depresionare) existente în rocile din edificiile de patrimoniu. Astfel, dizolvarea și reprecipitarea lentă au ca efect recristalizarea superficială a rocii, constând cel mai adesea în creșterea dimensiunii cristalelor. Pe pereții verticali (sau cu înclinare mare) ai edificiilor arhitectonice, expuși apei de ploaie, dar mai ales a celei rezultate din topirea zăpezii, dizolvarea și precipitarea nu mai coincid spațial. Astfel, în zona superioară a pereților predomină dizolvarea (eroziunea prin dizolvare), pe când în zona inferioară se manifestă cu precădere precipitarea. În zona de precipitare, calcitul cristalizează în forme foarte diverse, funcție de structura rocii, de starea de degradare a suprafeței, dar și de viteza de evaporare a apei. La evaporări rapide, pe pereții încălziți de soare, calcitul precipită sub formă de crustă carbonatică micro’ și criptocristalină, fie direct pe suportul carbonatic, fie pe alte cruste preexistente, de natură minerală sau biotică. La evaporări mai lente, așa cum se observă mai ales pe pereții golurilor din travertin, se pot forma cristale romboedrice de calcit sau se pot depune chiar și mici forme speleale, stalactite sau stalacmite.

Dezagregarea

Dezagregarea – pierderea coeziunii dintre granule – este un proces întâlnit mai la toate rocile expuse intemperiiilor. Cauzele, formele de manifestare și intensitatea procesului depind atât de tipul petrografic, cât și de condițiile externe. Cauzele cele mai eficiente care au condus la dezagregarea rocilor examinate de noi, sunt: 1) anizotropia termică a cristalelor din roci; 2) presiunea de cristalizare a apei din pori; 3) presiunea de cristalizare a sărurilor din soluții; 4) dizolvarea selectivă a cimentului.

Anizotropia termică a cristalelor din roci acționează în special la rocile holocristaline compacte, cu granulație medie și mare, alcătuite din cristale anizotrope termic, expuse la variații termice naturale sau artificiale.

Presiunea de cristalizare a apei. Fenomenul, numit și *presiune de îngheț*, este foarte eficient la rocile poroase, cu o mare densitate a porilor supracapilari, care permit circulația liberă a apei lichide în interiorul rocii (unele gresii, calcare organogene, travertin, unele tufuri vulcanice etc). De asemenea, fenomenul este posibil la toate rocile compacte care prezintă la suprafață rețele de fisuri, generate prin diverse alte cauze, care permit infiltrarea apei lichide. Înghețul și dezghețul repetat este recunoscut ca fiind cauza multor procese de dezagregare a (de exemplu) gresiilor din edificiile bisericesti și laice de pe teritoriul României.

Presiunea de cristalizare a sărurilor. Soluțiile apoase ale sărurilor solubile pătrund în porii rocilor sau pe fisuri, unde pot cristaliza, datorită evaporării apei. Cristalizarea sării în pori sau în fisuri, datorită evaporării solventului, generează o presiune care este direct proporțională cu temperatura la care are loc cristalizarea și cu gradul de suprasaturație al sării respective:

$$P_c = \frac{RT}{V_i} \ln \frac{X}{X_s}.$$

În acele zone superficiale ale rocii poroase, unde presiunea de cristalizare depășește rezistența la rupere a pereților din pori (eventual și forța de coeziune dintre granulele din vecinătatea porilor), se produce dezagregarea superficială a rocii.

Presiunea gazelor din pori. Este un fenomen care se produce destul de frecvent în rocile poroase puse în operă, care conțin pori închiși în mod natural sau artificial, prin acoperirea rocii poroase cu învelișuri impermeabile (de ulei, rășini, ceruri etc.). De cele mai multe ori, gazele din acești pori sunt de natura aerului atmosferic, dar în cazuri speciale pot fi vapori de apă rezultați prin deshidratarea unor săruri, cum ar fi sulfații hidratați de Na și Mg. Prin încălzire, presiunea gazului din acești pori închiși, la volum constant, crește, conform ecuației $P = RT/V$.

Dizolvarea cimentului. Este cea mai frecventă cauză care contribuie la dezagregarea gresiilor cu ciment carbonatic și acționează doar pe suprafețele expuse unui flux important de apă. În aceste circumstanțe, apa solubilizează selectiv cimentul carbonatic, permițând granulelor insolubile din gresie să se detașeze unele de altele.

Consecințele dezagregării. Ca urmare a dezagregării superficiale, din rocile tari inițiale, rezultă o mulțime de fragmente, respectiv bioclaste, granoclaste sau litoclaste. Obiectul litic suferă o pierdere de masă și destul de frecvent chiar o schimbare a formei pe care a avut-o inițial la punerea sa în operă. Pierderea de masă, pe această cale, este considerată ca fiind un alt tip de eroziune a obiectului litic, respectiv *eroziunea prin dezagregare*.

Biodegradarea

În numeroase cazuri, pe suprafața rocilor și chiar în interiorul acestora, se instalează diverse forme biotice: bacterii, alge, fungi, briofite (mușchi), colonii de licheni, plante ruderales etc. Organismele autotrofe (bacterii sau alge) fixate pe cristalele rocilor și în spațiile intercristaline, extrag din minerale K, Ca, Mg, Fe etc. și pot genera O_2 , N_2 , CH_4 , S și chiar acizi organici, cum ar fi acidul propanoic, care, fiind solubil în apă, contribuie la dizolvarea rocilor carbonatice. Foarte frecvent rocile puse în operă, care au stat mult timp în condiții de umiditate, sunt invadate de lichenii saxicoli (epilitici sau endolitici), ale căror hife medulare pătrund în masa rocii, folosind suprafețele de discontinuitate (spațiile intergranulare, microfisurile) sau porii rocilor. În metabolismul lor, aceste organisme generează ca subprodus acizii lichenici (acidul vulponic și acidul usmic), care, de asemenea pot agresa suportul petrografic de natură carbonatică. Talurile de licheni saxicoli ajung uneori să acopere suprafețe importante din construcțiile litice, contribuind substanțial la formarea *biocrustelor*. Regnul animal poate avea de asemenea efecte dăunătoare asupra pietrelor din edificiile artistice. Astfel, în guano se dezvoltă diverși acizi, ca acidul fosforic și cel azotic, cu repercursiuni corozive asupra rocilor din suport, mai ales a marmurei.

Forme particulare de acoperire a suprafeței rocii ca urmare a degradării

Acoperire cu crustă neagră

Una din cele mai frecvente forme de degradare a suprafeței blocurilor de piatră este apariția unui strat superficial, aderent la suport, de culoare închisă, numit de restauratori *crustă neagră*. Pe rocile bogate în calcit, respectiv pe marmure și calcare (fig. 1), crusta neagră se instalează și avansează cu mare ușurință, dacă aceste roci vin în contact cu atmosfera umedă, poluată cu SO_2 . De asemenea, crusta neagră se poate instala pe rocile granitice (fig. 2) și practic pe toate rocile care conțin feldspați plagioclazi.

O caracteristică a crustei negre este aderența relativ mare la suportul petrografic pe care se dezvoltă. Observațiile microscopice efectuate de noi pe diverse cruste negre instalate pe operele de artă din travertin (Poarta Sărutului, Târgu Jiu), calcar cu numuliți (Biserica Curtea de Argeș) și cele de marmură (statuile de pe fațada principală a Palatului de Justiție, București) arată o relativă uniformitate mineralogică și structurală.

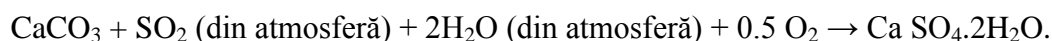


Fig. 1. Crustă neagră pe suport de (a) marmură (statuie pe fațada principală a Palatului de Justiție, București, 2004) și (b) de calcar (capitel W-SW, biserica Stavropoleos, București, 2009).



Fig. 2. Crustă neagră, puternic aderentă pe suport de granit. Marmorosblanc, București, 2007.

Componentul mineral cel mai important al crustei este *gipsul*, care cristalizează acicular sau scheletic. Prezența gipsului este indiciul sigur că formarea crustei negre pe suporturile de roci carbonatice este urmarea reacției dintre calcit și atmosfera poluată:



Acoperire cu crustă carbonatică

Această crustă, numită și calcaroasă, se găsește pe suprafața unor componente litice de natură carbonatică (calcare, marmure și gresii cu ciment carbonatic). Mai frecvent, crusta se dezvoltă pe suprafețele verticale, spre partea inferioară a acestora și este cauzată de reprecipitarea calcitului dizolvat în zonele mai superioare ale monumentului. În edificiile expuse integral în aer liber, cum este Poarta Sărutului, crusta carbonatică s-a dezvoltat mai intens pe fațada sudică a monumentului, cea mai însoțită, unde apa din soluția carbonatică, prelinsă pe perete, s-a evaporat mai repede decât pe celelalte suprafețe. Observațiile in situ, permit separarea a două tipuri structurale de cruste carbonatice: compacte și afânate. Examenul microscopic pe secțiuni transversale, arată că, în crustele compacte, cristalele de calcit neformat au supracrescut peste cristalele rocii suport, practic fără spații libere. În schimb, în crustele afânate, cristalele de calcit sunt mai mici, cu o dispunere haotică și cu spații libere între cristale. Atribuim celor două tipuri de cruste viteze diferite de evaporare a apei, crusta afânată fiind consecința unei evaporări mai rapide.

Acoperire cu eflorescențe de săruri

Eflorescențele de săruri apar pe suprafața pietrei din edificiile de patrimoniu fie ca o pudră, fie ca o peliculă deschisă la culoare, de obicei în tonuri albe (alb, alb-cenușiu, alb-gălbui etc.). În general, eflorescențele sunt alcătuite predominant din săruri care au o solubilitate în apă mai accentuată decât gipsul. Natura acestora diferă de la caz la caz. Indiferent de compoziție, se poate totuși concluziona că sărurile dominante din eflorescențe au o structură cristalină, iar din punct de vedere optic sunt transparente și incolore, cu indici de refracție mici (de regulă sub 1.54). Observațiile la stereomicroscop, efectuate de noi, arată că majoritatea cristalelor din eflorescența nederanjată sunt submilimetrice, cu forme prismatic-aciculare și se asociază spațial într-un aranjament scheletic, ca o pâslă, cu mari spații intercristaline libere, umplute cu aer (fig. 3).

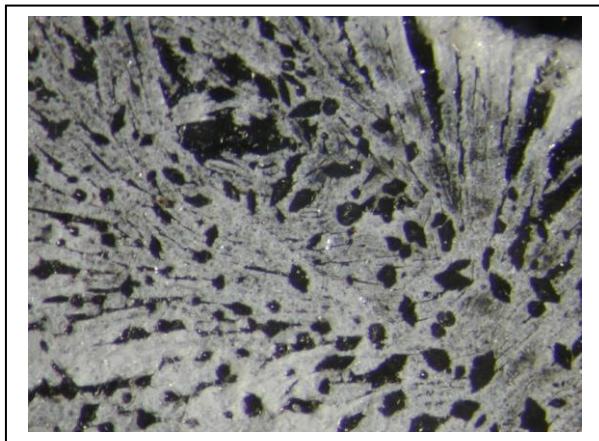


Fig. 3. Agregate fibro-radiare de epsomit, scoase în evidență prin tehnici de laborator speciale. Imagine la microscopul stereo, detaliu. Palatul de Justiție, 2004.

Acoperire cu pete (pătarea suprafeței)

Suprafața pietrelor deschise la culoare, ca de exemplu a marmurelor și a calcarelor, este uneori grav degradată cromatic, datorită fenomenului de pătare. După natura lor, petele sunt diverse, mai frecvente fiind cele feruginoase, cele cuprifere și cele organice.

Acoperirea cu pete feruginoase. Petele feruginoase se formează prin depunerea, la exteriorul pietrei, a unei mase coloidale de oxizi / hidroxizi de fier, care se extinde mai mult sau mai puțin în profunzimea rocii, prin difuzie, în lungul interfețelor dintre granule. Petele cuprifere sunt cauzate de existența în edificiul arhitectonic a obiectelor de cupru / bronz (bare, agrafe, acoperișuri, burlane etc.). În condițiile atmosferice, cuprul se alterează cu ușurință, formând frecvent malachit și sulfat de cupru, ambii de culoare verde. Sulfatul de cupru este foarte solubil în apă și de aceea, prin intermediul apei, se împrășteie cu mare ușurință pe suprafața pietrei.

Acoperirea cu substanțe organice este uneori accidentală, dar pe edificiile mai vechi, petele organice de pe suprafața pietrei sunt deseori relice dintr-un tratament intenționat. Astfel, uneori, pentru protecția pietrei s-au folosit substanțe organice hidrofuge, respectiv uleiuri, ceară, grăsimi. În timp, aceste substanțe au suferit ele însele diverse transformări, care au contribuit mai mult sau mai puțin la degradarea cromatică a suprafeței obiectului de piatră.

Veziularia este un fenomen mai rar întâlnit, constând într-o umflare locală a stratului superficial din rocă. Fenomenul este condiționat de existența unei suprafețe de discontinuitate mai mult sau mai puțin paralelă cu suprafața materialului (fig. 4, 5), cum ar fi o fisură termogenă sau o suprafață de strat sau de șistozitate. Vezicula / umflătura poate avea diferite cauze: presiunea de îngheț a apei infiltrate, presiunea de cristalizare a unor săruri solubile, presiunea unor punși de gaze, presiunea exercitată de colonii vegetale.

Acoperiri antropogene. Cu sau fără intenție, suprafețele de piatră pot fi acoperite, după punerea în operă, cu diverse materiale (mortare, var, ciment Portland, uleiuri, strate de vopsea, graffiti etc.), care pot prejudicia estetica obiectului litic și chiar stabilitatea chimică a acestuia.

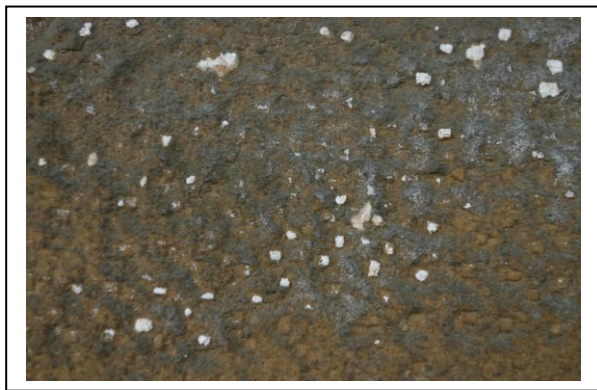


Fig. 4. „Ciupituri” superficiale ale suprafeței de calcar buceardat și tencuit. Palatul de Justiție, 2006.



Fig. 5. Vezicularea locală a stratului superficial din gresie. Coloană pridvor, biserica Fundeniei Doamnei, București, 2006.

Relevuul petrografic și al degradării rocilor din monumente

Într-un relevu petrografic, natura rocilor (tipuri și varietăți mineralogice și / sau structurale ale acestora) pot fi redată prin culori, hașuri sau diverse alte simboluri, așa cum se procedează pe hărțile geologice. Alte particularități ale rocilor (cum ar fi cele morfometrice și distribuția spațială a porilor vizibili macroscopic, elementele macroscopice care definesc anizotropia rocii, eterogenitățile mineralogice și structurale ale rocii etc.), care influențează evoluția degradării rocii în edificiul arhitectonic, trebuie, de asemenea reprezentate pe relevu. Într-un astfel de relevu de degradare, trebuie să se folosească un limbaj explicit, pentru ca restauratorul să înțeleagă perfect esența fenomenului de degradare. Tendința actuală este de a ne alinia la semnificația unei terminologii de uz internațional, cu semnificație bine precizată.

Considerații asupra vitezei de creștere a crustei de alterare

Ponderea importantă printre degradările rocilor din monumente o au alterările chimice. Ele sunt controlate calitativ de compoziția mineralogică a rocii, fiind o consecință a dezechilibrului chimic instalat într-o rocă și noul ei mediu ambiental. De aceea, alterările chimice au o tendință spontană de manifestare, fiind practic continui, deși cu viteze care pot varia foarte mult de la o condiție la alta. Alterarea chimică debutează la interfața rocă / mediu, având ca efect formarea *crustei de alterare*. Crusta este delimitată de două suprafețe: cea externă (S_1), care corespunde practic cu suprafața inițială a rocii și cea internă (S_2), respectiv interfața dintre crustă și roca proaspătă. Distanța dintre cele două suprafețe, măsurată pe normala la S_2 , definește grosimea crustei (L). Pentru un timp dat, viteza de creștere a crustei este:

$$v = dL / dt$$

unde, dL este deplasarea interfeței S_2 în profunzime în intervalul de timp dt infinit de mic. Viteza de creștere a crustei are un maxim (v^0), chiar la debutul reacției (când $L = 0$) și scade pe măsură ce crește grosimea. Chiar dacă viteza inițială v^0 este o mărime variabilă, dependentă de diverși factori (intensitatea agentului de alterare, morfologia suprafeței, natura petrografică a suprafeței etc), trebuie să acceptăm că, indiferent de situație, grosimea L a crustei joacă un rol de frânare a vitezei, astfel că ea va scădea sistematic pe măsura creșterii parametrului L .

După câte cunoaștem, această dependență nu a fost redată până acum printr-o ecuație explicită. În opinia noastră, ecuația ar trebui să aibă următoarea formă:

$$v_L = v^0 / (1 + L^n)$$

unde, v_L este viteza de creștere la grosimea L . Exponentul „ n ” are valori egale sau mai mari decât 1 și depinde la fel ca v^0 de natura agentului reactant (respectiv de mediul reactant), de natura rocii și de proprietățile compoziționale / structurale ale crustei. Pentru crustele negre, dezvoltate pe marmură și calcare compacte, existente în edificiile din București, valorile lui „ n ”, estimate de noi, nu depășesc 1.5, iar valoarea lui v^0 o estimăm la circa 0.5 – 0.1 mm/an. În figura 6 este prezentată grafic corelația dintre viteză și grosimea L , unde se pleacă de la cazul ipotetic că $v^0 = 0.3$ mm/an și exponentul „ n ” = 1.

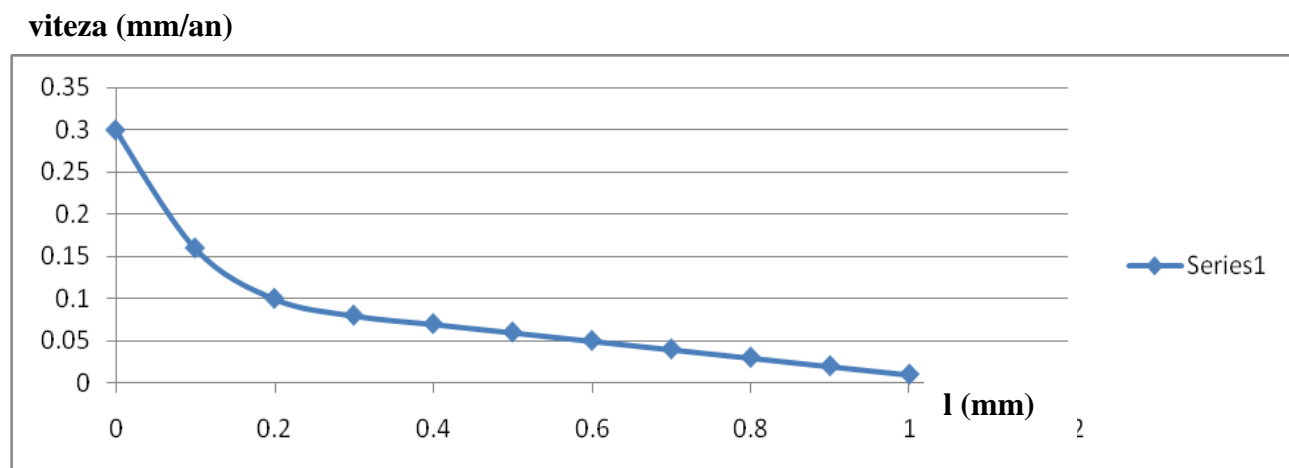


Fig. 6. Relația dintre viteza de creștere a crustei și grosimea acesteia (admițând că $n = 1$).

Din acest exemplu, se poate vedea că viteza de creștere a crustei de alterare scade vertiginos cu grosimea în primele stadii de evoluție, ajunge la jumătate din valoarea inițială, când grosimea este de 0.1 mm și devine doar a zecea parte din v^0 la grosimea de 1 mm. Cauza acestui fenomen derivă din greutatea difuziei reactanților prin masa produsului de reacție (dinspre mediu spre roca proaspătă, eventual difuzia inversă a unor produși de reacție). Crustele ale căror grosimi au depășit 1 mm, le putem numi „maturizate”. Foarte sugestiv este și termenul utilizat de noi în practica de restaurare și anume cel de „crustă de autoapărare”, deoarece la această grosime crusta apără roca împotriva agenților de alterare existenți în mediul ambiant.

O remarcă importantă este aceea că, într-o crustă de alterare nu se observă totdeauna un paralelism între suprafețele S_1 și S_2 , ceea ce ne arată că valorile v^0 pot să difere mult de la un punct la altul al zonei de reacție, chiar și pe aceeași rocă omogenă mineralogic și structural. Aici intervine morfologia suprafeței de molon care nu este totdeauna mărginit de fețe plane. La corpurile cu forme complicate pot fi colțuri, muchii, depresiuni, vârfuri etc. și deci suprafața poate avea forme de relief pozitive în alternanță cu cele negative sau suprafețele dintr-o zonă a molonului pot fi rotunde, concave sau convexe, izolate sau în alternanță. La debutul alterării difuzia specițiilor chimice implicate în reacții este mai rapidă pe colțuri și pe formele pozitive. De aceea, grosimea crustei de alterare variază de la o formă la alta, iar relieful rocii de sub crusta de alterare, delimitat de suprafața S_2 , este diferit de cel inițial. Înlăturarea exclusivă a crustei de alterare va genera un alt relief, evident mai atenuat. De acest lucru trebuie neapărat să se țină seama atunci când ne propunem să intervenim pe roci cu delicate detalii artistice, afectate de alterarea chimică.

Capitolul 3. Examinarea rocilor și a stării lor de degradare din câteva edificii sugestive ale patrimoniului românesc

Ansamblul sculptural Poarta Sărului (Târgu Jiu)

În edificiul monumentului se găsesc 110 moloane, alcătuite exclusiv din travertin. Sub aspect mineralogic, travertinul din aceste moloane este relativ simplu, fiind alcătuit predominant din calcit

(90 – 95%), restul fiind siderit, oxizi de fier, substanțe amorfe și minerale opace deseori incluse în cristalele de calcit. Totuși, fiecare molon are propriile particularități, datorate faptului că zăcămintul de travertin din care provin moloanele a fost, prin natura sa, eterogen sub aspect structural. Un element foarte important al acestei diversități structurale îl constituie dimensiunile cristalelor de calcit, care variază în limite foarte largi, de la cele micronice până la centimetrice. Astfel, se pot remarca zone sau cuiburi cu granulație mare, într-o masă microcristalină, dar și o rubanare structurală, impusă de variația cristalelor de calcit de la un strat la altul. Aceste variații sunt adesea recurente, apărând alternanțe de fâșii cu structuri micro și macrogranulare, imprimând travertinului o rubanare structurală vizibilă doar la o examinare atentă a rocii. O neomogenitate foarte bine exprimată este cauzată de variația cu distanța a caracteristicilor porilor: forma, dimensiunea, frecvența (respectiv porozitatea) și modul de aranjare în spațiu a populației de pori. Porii mici, subcentimetrice, sunt, de regulă, izometrici, pe când cei mari sunt deseori anizometrici, de tip planar. Fâșii de travertin cu grosimi decimetrice sau chiar metrice, bogate în macropori aplatizați, alternează cu fâșiile de travertin microporoase, accentuând astfel macrostructura stratificată a travertinului.

Degradarea rocii. După punerea în operă, datorită apei de precipitație, blocurile de travertin au intrat sub incidența a două procese spontane, cu efecte contrare: dizolvarea, respectiv precipitarea calcitului din apa evaporată pe suprafața pietrei. **Dizolvarea** este procesul care agravează cel mai puternic integritatea monumentului și se realizează cu precădere în zonele superioare ale antablamentului, având ca efect nedorit lărgirea porilor și ștergerea detaliilor sculpturale. Procesul invers, de **precipitare** a calcitului, se realizează pe suprafețele exterioare ale pietrei și chiar în pori, acolo unde a fost posibilă evaporarea apei scursă sau difuzată pe suprafața travertinului. Efectul evaporării apei pe suprafață se concretizează prin formarea unei cruste de precipitare, de natură carbonatică. Precipitarea carbonaților în pori duce la diminuarea sau chiar obturarea completă a golurilor, netezind astfel suprafața pietrei. După intensitatea relativă a celor două procese, s-au separat trei categorii de moloane: a) cele cu proces dominant de dizolvare (așa cum s-a observat în partea superioară a antablamentului); b) cu proces dominant de precipitare (pe care s-au observat crustele carbonatice secundare); c) cu stare staționară (dizolvarea și precipitarea s-au desfășurat cu viteze egale, astfel încât efectele s-au anulat reciproc). Prima categorie suscită o mai mare atenție, în contextul propunerilor de tratare. Aici intervenția a vizat micșorarea și chiar anularea vitezei de dizolvare, în alternativa menținerii monumentului sub cerul liber.

Degradarea suprafeței prin „**pătare**” naturală s-a realizat doar în apropierea zonelor sideritice, unde s-a produs oxidarea carbonatului de fier. **Degradările de natură antropogenă** (diverse sub aspect calitativ) erau de asemenea prezente înainte de ultima restaurare. Un alt proces de degradare a monumentului este **fisurarea**. Observațiile noastre ne-au dus la concluzia că, în monument, sunt atât fisuri preexistente, cât și ulterioare, formate după punerea în operă. Fisurile preexistente se găseau inițial într-un stadiu avansat de cimentare naturală cu cristale de calcit mezo sau macrocristalin și în mod excepțional cu cristale fibroase de aragonit, având dimensiuni care, uneori, depășesc un centimetru, ieșind clar în evidență. Cele mai multe dintre fisurile preexistente și-au menținut starea de cimentare naturală inițială și nu împieteză cu nimic monumentul.

Statuile de pe fațada principală a Palatului de Justiție, București

Statuile de pe fațada principală au fost sculptate de Carol Storck, Frederic Storck, Vladimir Hegel și George Vasilescu, fiind numerotate în teză de la 1 la 8. Statuile 1, 3 și 4 au fost sculptate din aceeași varietate de **marmură**, fiind fin granulară, neomogenă cromatic, cu slabă anizotropie, de tip rubanat. Neomogenitatea este dată de prezența unor lamine (fâșii) de culoare cenușie, care alternează cu zone de marmură albă. Mineralul principal este calcitul, care, în zonele albe ale marmurei ajunge la 99% (procente volum); subordonat apar grafit, muscovit și hematit. Marmura din statuia 2 se deosebește structural de cea din statuile 1...8, fiind albă, macro-granulară, omogenă cromatic, izotropă din punct de vedere structural. În plus, are o granulație mai mare (1.5 – 2.7 mm),

cu cristale izometrice și o compoziție mineralogică foarte simplă. Marmura din statuile 6, 7 și 8 seamănă cu cea din care au fost modelate statuile 1, 3, 4 și 5, dar se deosebește de aceasta prin neomogenitatea dată de prezența petelor vag cenușii cu lățimi de 1 – 20 cm. Slabele diferențe mineralogice dintre cele trei varietăți de marmură sunt nuanțate de prezența sau absența a două minerale accesorii: grafitul și muscovitul. Caracteristicile marmurelor, precum și considerentele istorice, arată că marmurele provin din zona mediteraneană, respectiv din Insulele Cyclade (marea Egee).

Degradarea specifică. Timp de mai bine de 100 de ani de la punerea în operă, statuile de la Palatul de Justiție au fost expuse condițiilor de climă și microclimat specifice zonei centrale a Bucureștiului. Sub acțiunea apei pluviale, dar mai ales a apei reci rezultată din topirea zăpezii, marmura din statui a suferit fenomenul de **dizolvare** superficială, cu intensități diferite, funcție de configurația suprafețelor sculptate și de poziția acestora în spațiu. Ca regulă generală, se constată că suprafețele orizontale sau cu înclinare mică, amplasate în partea superioară a statuiilor, au devenit rugoase datorită dizolvării mai rapide a cristalelor de calcit la interfețele granulelor. În marmurele eterogene cromatic (de natură mineralogică) se constată o rezistență mai mare la dizolvare a fâșiilor negricioase, bogate în grafit, motiv pentru care acestea au rămas în relief. Aproape în toate statuile se constată apariția **crustelor negre**, de origine biominerală. Componenta mineralogică dominantă din aceste cruste este gipsul, care apare sub formă de cristale scheletice, între care se plasează particole de praf, cărbune și licheni. În decursul celor peste 100 de ani statuile din edificiul palatului au suferit efectul a trei cutremure mari, resimțite prin apariția locală a unor **fracturi seismogene**. Unele lacune ale statuiilor s-ar putea datora șocurilor de natură antropogenă.

Piatra din ansamblul arhitectonic al Palatului Elisabeta, București

Palatul Elisabeta, structură armonioasă, încărcată cu simboluri ale trecutului și prezentului, a fost proiectat de către arhitectul Corneliu M. Marcu în anul 1930 și construit între 1936 și 1937. În ansamblul arhitectonic al palatului există mai multe componente artistice sculptate în piatră: a) basorelieful fântânii; b) banca; c) coloana; d) grifonii din curtea interioară; e) frontonul porții palatului. Componentele artistice: basorelieful fântânii, grifonii și frontonul palatului au fost sculptate din tuf vulcanic, iar banca și coloana din varietăți de calcar.

Tuful vulcanic este o rocă poroasă (porozitate peste 25%), cu o vagă stratificație și o slabă anizotropie planară. Fazele depistate la microscop aparțin la două categorii genetice: primare (sticla vulcanică, plagioclaz, cuarț etc) și faze secundare. Faza primară sticloasă, extrem de abundentă inițial, este practic complet înlocuită cu zeoliți, motiv pentru care tuful vulcanic existent în acest edificiu poate fi considerat rocă zeolitică. Natura mineralogică a zeolitului (mordenit și heulandit) a fost determinată prin difractometrie RX. În starea actuală, tuful vulcanic, datorită porozității accentuate, dar și a proporției mari de zeoliți, are nu numai o permeabilitate relativ accentuată, ci și o mare capacitate de absorbție a apei. Având o mare capacitate de absorbție a apei, fenomenul repetat de umectare și uscare, cu variațiile de volum corespunzătoare, a dus la micșorarea durității rocii și erodarea acesteia, cu precădere pe colțurile și muchiile de pe detaliile sculpturale. Din același motiv, tuful vulcanic a asigurat condiții ideale de dezvoltare a activității biotice, îndeosebi a coloniilor de licheni, formându-se biocruste în diferite stadii de evoluție. Astfel, biocrusta germinează pe pereții porilor deschiși, îi colmatează, apoi se extinde centrifug, ca un strat continuu, pe suprafețe din ce în ce mai extinse.

Varietățile de calcar

În incinta palatului, sculptorul a folosit trei varietăți: (a) calcar peletal, roca din care au fost sculptate spătarul băncii și coloana; (b) calcar organogen bioacumulat, roca din care s-a sculptat placa orizontală a băncii; (c) calcar organogen cu numuliți, roca din care s-au sculptat picioarele și mânerul băncii. În afară de morfometria particulelor, se deosebesc și prin porozitate: a calcarului peletal între 7 și 10 %, a celui bioacumulat între 3 și 5 %, iar calcarul cu numuliți, 15 – 20 %. Componentele artistice de natură calcaroasă (banca și coloana) au fost afectate în special de două

procese naturale de degradare mai importante: 1) apariția suprafețelor rugoase, datorită dizolvării cu viteze diferite a particolelor petro-structurale (mai evidente în cazul calcarului organogen, cu numuliți); 2) formarea de cruste minerale și biotice. Efectele negative ale dizolvării s-au concretizat în eliminarea zonelor cu suprafețe specifice mari de pe edificiul sculptat (unghiurile diedre, vârfurile, colțurile, formele sferice care au curbură mare). În final, dizolvarea a estompat relieful detaliilor sculpturale, fenomen vizibil mai ales la banca de piatră. Crusta minerală de culoare negricioasă, eliminată parțial printr-o curățare anterioară, apare acum doar local, în special pe calcarele organogene din bancă.

Componentele litice din edificiul Mănăstirii Stavropoleos, București

Construită în stil brâncovenesc, în centrul orașului București, Biserica Stavropoleos a fost înălțată în 1724, în timpul domniei lui Nicolae Mavrocordat. În construcția edificiului au fost folosite următoarele roci: 1) *calcar fosilifer*, bogat în *Numuliți*, utilizat în construcția soclului, a pridvorului, a ancadramentelor ferestrelor de pe pereții nordici și sudici și a coloanelor din pridvor; 2) *calcar microgranular*, relativ sărac în fosile, utilizat la construcția brâului din zidăria exterioară a bisericii; 3) *alabastru*, utilizat la ramele de la ferestrele din zona altarului, precum și la portalul bisericii.

În *calcarul fosilifer cu numuliți*, bioclastele variază între limitele 60 – 70 %, epiclastele 5 – 8 % și liantul dintre ele 20 – 35 %. Epiclastele (granoclaste de cuarț, feldspați, muscovit) predominant angulare, au dimensiuni sub 0.5 mm. Liantul clastelor este un ciment calcitic, predominant microcristalin. Pori mari, intergranulari, de peste 0.2 mm sunt în majoritate conectivi și permit circulația liberă a aerului și a apei pe grosimi de ordinul centimetrilor.

Calcarul microgranular este alcătuit dintr-o masă de calcit micritic (75 – 80 %) în care se găsesc bioclaste și foarte puține epiclaste.

Alabastrul. Mineralul dominant este gipsul (80 – 90 %), iar subordonat anhidritul, baritina și mineralele opace.

Degradări specifice

Înainte ultimei restaurări a componentelor litice din edificiul bisericii, rocile se aflau în diferite stări de degradare, procesele de degradare fiind evident influențate de natura petrografică. Pe calcarul fosilifer cu numuliți, degradarea s-a desfășurat cu amploare diferită, funcție de morfologia și poziția moloanelor. Mai profund afectate sunt moloane expuse intemperiiilor. Un proces foarte activ îl constituie *dizolvarea*, fenomen vizibil în special în zona pridvorului sculptat. Procesul s-a finalizat cu un fenomen de dezagregare, o pierdere de masă și o estompare aproape completă a detaliilor sculpturale. Cu totul local, în jurul zonelor ankeritice, simultan cu dizolvarea calcitului s-a produs fenomenul de *oxidare*, apărând astfel, pe roca dezagregată, pete de rugină, dar și sulfați magnezieni solubili în apă, aceștia din urmă generând cuiburi sau zone difuze de eflorescențe.

În zonele exterioare din pridvor și din soclu apa din pori, în reacție cu SO₂ a agresat chiar și zonele interioare ale rocii, depunându-se pe pereții porilor gips cu sau fără sulfați magnezieni.

Fisurile secante față de suprafața de molon sunt, de asemenea, prezente. În câteva moloane se remarcă o *fisurație* paralelă cu suprafața de molon, care a dus local la fenomenul de delaminare și exfoliere. Este evident că aceste tipuri de fisurări sunt determinate de contracțiile și dilatățile succesive ale rocii, dar există și fragmentări (ciobiri) de natură antropogenă.

Alabastrul este una din rocile ornamentale cele mai solubile în apă. La Stavropoleos, pe suprafețele care au permis reținerea apei un timp îndelungat și evaporarea lentă, alabastrul nu s-a dizolvat, în schimb s-a produs o *recristalizare* a rocii, formându-se o crustă de gips macrogranular. Pe suprafețele care au permis scurgerea fără restricții a apei de precipitații nu s-a format crustă, dar s-a realizat o pierdere de masă prin dizolvare. Acest fenomen se observă mai ales pe suprafețele convexe și verticale ale detaliilor sculpturale de la ancadramentele ferestrelor din zona altarului.

Crustele biotice de alge și licheni s-au dezvoltat local pe unele moloane de roci din zidăria exterioară a bisericii. Cele mai vizibile sunt asociate cu suprafețele concave din detaliile sculpturale, cele umbrase și umede.

Pe moloanele de calcar biocrustele și crustele sulfatice s-au dezvoltat simultan cu viteze relative care au variat de la un loc la altul, pe mai toate moloanele. Produsul rezultat este o **crustă** complexă, **biominerală**.

Capitolul 4. Tratamente specifice intervenției de conservare – restaurare a pietrei degradate

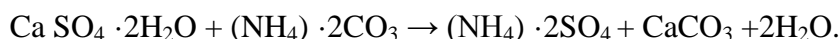
Curățarea

Intervenția cu cel mai mare impact vizual asupra unei opere de artă, curățarea, deși motivată aparent numai de considerente estetice, trebuie să răspundă unor principii științifice de conservare și protejare a operei de artă respective. Fiind o intervenție tehnic complexă, delicată și ireversibilă, ea poate avea și rezultate negative, în situația în care nu se iau în calcul toate caracteristicile suprafețelor ce trebuie curățate și nu se alege tehnica și substanțele cele mai potrivite situației date. Din punct de vedere tehnic, alegerea metodelor și produselor de curățare depinde, pe de-o parte, de natura rocii, iar pe de altă parte de natura materiilor ce trebuie îndepărtate de pe corpul litic degradat. În acest scop se pot folosi mijloacele mecanice și fizico-chimice.

Mijloacele mecanice. Cele mai curențe sunt perile de diferite forme, dimensiuni și durități, bureții de diferite tipuri, instrumentarul variat de uz stomatologic, abrazivii în pastă sau în jet (aer-abrazive sau hidro-aer-abrazive), diferite tipuri de freze electrice sau pneumatice, dălți de diferite tipuri, incizoare, vibroincizoare pneumatice, bisturie cu ultrasunete etc.

Mijloacele fizico-chimice urmăresc fie solubilizarea substanțelor solide nedorite existente pe piatră, fie de a le înmuia, în vederea facilitării îndepărtării lor prin mijloace mecanice. Deseori este necesar să se utilizeze amestecuri de solvenți cu o acțiune rapidă, altelei dimpotrivă, un amestec mai puțin eficient, dar care rămâne mai mult în contact cu substanțele care trebuie îndepărtate, pentru a le da răgazul să se înmoaie. Mijloacele de curățare cu acțiune chimică sunt cele care permit eliminarea unei materii solide printr-o reacție care rupe legăturile primare. Substanțele care acționează în acest fel sunt acizii și bazele folosite în prezența apei. Acizii puternici acționează prin reacție chimică, hidrolizând mai ales proteinele, dar nu sunt recomandați pentru rocile cu componenți carbonatici.

Curățarea crustelor anorganice și a eflorescențelor saline de pe suprafața pietrei. Eflorescențele saline fixate pe suport litic insolubil în apă pot fi ușor îndepărtate prin spălare cu apă, dar și în stare uscată, cu o pensulă moale sau cu ajutorul jeturilor de aer. Pentru a extrage la maxim sărurile din interior, se pot aplica comprese umede de pastă de hârtie sau de argilă absorbantă (sepiolit, atapulgite, caolin etc.). Sărurile insolubile, inclusiv cele din crustele negre, se îndepărtează prin mai multe mijloace: apă fin pulverizată, micro-sablare, comprese pe bază de argilă, geluri bazice, carbonat de amoniu, acesta din urmă fiind foarte eficient în curățarea crustelor negre bogate în gips, permițând înlocuirea metasomatică a gipsului cu calcit, conform reacției:



Sulfatul de amoniu, fiind foarte solubil în apă, difuzează dinspre crustă în compresa umedă și poate fi înlăturat împreună cu aceasta. În virtutea acestei reacții, crusta de gips este practic înlocuită cu o crustă carbonatică, mai stabilă.

Curățarea depunerilor de praf se face cu o perie foarte moale, aspirator, jeturi de aer generate de un compresor etc., după ce ne-am asigurat de buna aderență a stratului suprafeței. „Praful gras” (bogat în particule carbonice) se îndepărtează cu amestecuri ușor bazice: apă cu adaos de la 5 la 20% amoniac sau alte baze slab volatile, aplicate cu pensula sau cu ajutorul tampoanelor, evitând orice frecare prelungită.

Curățarea depunerilor organice Materiile grase de natură antropogenă se curăță utilizând amestecuri bazice alese în funcție de vârsta și grosimea stratului ce trebuie eliminat. Ceara poate fi îndepărtată cu spirt alb, tetraclorura de carbon, trielină etc.

Tratarea biodeteriogenilor și curățarea pietrei de biocruste. În prezența biodeteriogenilor fixați pe piatră, restauratorul urmărește, pe de-o parte, stoparea activității acestora, iar pe de altă parte, îndepărtarea produșilor de metabolism, a resturilor biotice izolate și a celor constituite în biocruste. Stoparea activității biotice se poate realiza prin suprimarea condițiilor necesare dezvoltării agentului biotic sau prin biocizi. Biocizii destinați fungilor sunt formolul, pentaclorfenolul, ortofenilfenolul etc. și se aplică în soluții de diverse concentrații, prin pensulare. După biocidare, urmează îndepărtarea resturilor biotice izolate și a biocrustelor, ceea ce se realizează frecvent prin variate mijloace mecanice (desprindere prin periere, suflare, sablare controlată, etc.).

Consolidarea pietrei degradate

Consolidarea este operația tehnică prin care se reface coeziunea dintre granulele sau fragmentele litice dispersate, sau pe cale de a se dispersa în procesul de degradare. În esență, operația se rezumă la impregnarea rocii degradate cu o substanță consolidantă. Consolidantul (de obicei lichid) trebuie să penetreze suficient de adânc, să ajungă la partea sănătoasă a pietrei și să conecteze la ea toate părțile deteriorate care pot fi cu ușurință desprinse. Pentru consolidarea pietrei se folosesc atât consolidanți mineralici (apa de var, varul, silicați alcalini, esteri de siliciu, soluțiile pe bază de silice coloidală, hidroxid de bariu, tetra etil orto silicat (TEOS) etc), cât și consolidanți / adezivi pe bază de polimeri sintetici (rășini termoplastice, rășini termorigide sau termoreactive (plastomeri). Procesele de consolidare de obicei nu reușesc să interconecteze spații mai mari de ordinul zecimilor de milimetru; nicidecum să refacă adeziunea între fragmente de dimensiuni mari sau să împiedice apa să intre în piatră prin intermediul fisurilor sau a desprinderilor. O cerință de bază în restaurare este aceea ca piatra să prezinte suprafețe compacte la interfața cu mediul înconjurător, astfel încât să se evite penetrarea lichidelor agresive. Din acest motiv, toate fisurile și alt tip de discontinuități trebuie umplute cu substanțe adezive corespunzătoare, în așa manieră încât să se îmbunătățească rezistența mecanică, iar posibilul acces al apei în interiorul pietrei să fie blocat. În acest scop se folosesc o serie de materiale ce implică amestecul unui liant (rășini epoxidice, silicați de etil, var etc) și un adaos de material inert fin (praf de piatră, nisip etc), urmărindu-se obținerea unor paste fluide cu ajutorul cărora să se realizeze umplerea spațiilor respective.

În vederea umplerii zonelor lacunare mai mari sau refacerea părților lipsă se folosesc mortare mai vâscoase, bazate pe același principiu de preparare: un material de umplere (de obicei același tip de piatră sfărâmată în particule de diverse granulații) și un liant, fie organic (rășini sintetice) sau anorganic (var, etil silicați etc). Chituri și plombări cu mortare de restaurare se pot face în cazul zonelor lacunare de dimensiuni relativ mici. În cazul necesității refacerii unei zone ample, care lipsește din materialul litic, în mod special când zona lacunară presupune refacerea unei volumetrii, se folosește termenul de "reintegrare volumetrică".

Protecția pietrei după tratament

Atâta timp cât apa este unul din cei mai importanți factori în procesele de degradare a pietrei (dizolvarea calcitului, transportul sărurilor solubile, transportul reactivilor acizi din mediul poluat, îngheț-dezghet etc), operația de hidrofobizare este foarte importantă în conservarea-restaurarea pietrei și a suprafețelor arhitecturale expuse mediului exterior. Materialele folosite în acest scop constau din uleiuri vegetale (cel mai folosit fiind uleiul de in), grăsimi animale, ceruri și parafine. Cerurile moderne folosite în conservarea pietrei se bazează pe parafine și sunt comercializate dizolvate în solvenți organici sau dispersii apoase, fiind capabile să îndeplinească dublul rol, de consolidant și hidrofug.

Capitolul 5. Studiu integrat: Edificiul Banca Națională a României

Petrografia componentelor litice din edificiu

Imobilul Băncii Naționale are fațada dinspre strada Lipscani zidită și decorată în întregime din moloane de calcar, cariera Rusciuk (Bulgaria). Calcarul conține numeroase bioclaste, fiind identificate teste perfect conservate de foraminifere, fragmente de brizoare, echinide, brahiopode, corali și numeroase oncoide (corpuseculi algali micritici), specifice calcarelor sarmatice. Accidental apar și particule epiclastice (fragmente de minerale și roci), cu dimensiuni specifice nisipurilor fine. Proporția și dimensiunea medie a bioclastelor variază de la un molon la altul și chiar în cadrul aceluiași molon. Compoziția mineralogică și dimensiunile cristalelor specifice calcarului din edificiul Băncii Naționale sunt următoarele:

<i>Minerale</i>	Limite de variație ale proporției (% volum)	Limite de variație ale dimensiunii cristalelor (mm)
Calcit	80 – 90	0.01 – 0.8
Aragonit	0 – 5	fibre cu grosimi < 0.1
Dolomit / Ankerit	3 – 10	0.01 – 0.2
Cuarț	< 0.5	0.01 – 0.1
Hidroxizi de fier	< 1	criptocristalină
Substanță organică	< 2	substanță colomorfă

Calcarele cu nuanțe brune sunt variatăți dolomit-ankeritice și ele alternează chiar în limitele aceluiaș molon, cu calcarele albe, calcitice, formând benzi cu grosimi de regulă centimetrice. Calcarul este poros. Porii vizibili macroscopic sunt foarte rari, însă observațiile microscopice evidențiază o mulțime de pori submilimetrice, astfel încât porozitatea totală, estimată microscopic, este cuprinsă între 20 și 25 %. În caz excepțional, în apropierea suprafeței de molon, acoperit cu crustă neagră, porii sunt colmatați cu gips, rezultat prin alterarea chimică, după punerea în operă a moloanelor (fig. 6, 7).

Fig. 6. Componentele petro-structurale ale calcarului: bioclaste Bc, ciment calcitic C și sistemul de pori intergranulari cu conectivitate medie. Imagine microscopică în lumină polarizată, cu nicoli încrucișați. Porii (P) sunt de culoare neagră. A se observa structura izotropă a calcarului dată de lipsa orientării preferențiale atât a bioclastelor, cât și a porilor.

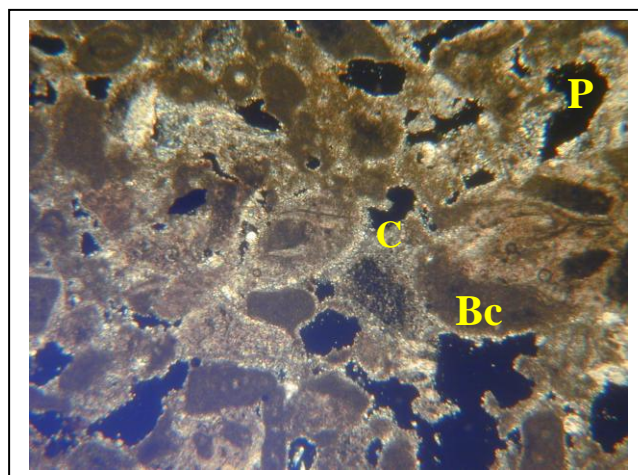
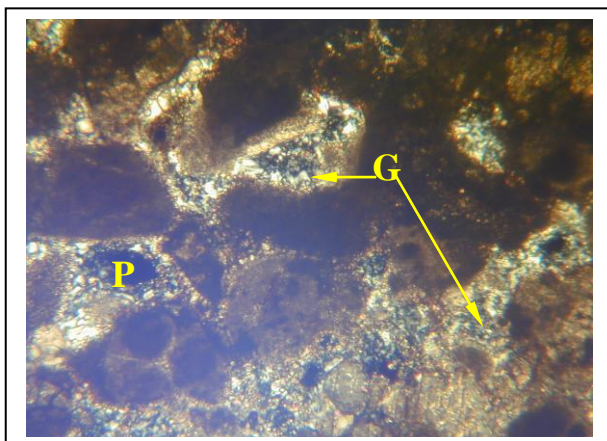


Fig. 7. Detaliu microscopic din proba 1. A se observa gipsul microcristalin (G) din porii conectivi; o parte din porii conectivi (P) sunt parțial colmatați cu gips microcristalin, într-o structură druzitică.

Degradarea specifică a pietrei din edificiul Băncii Naționale

Fiind un edificiu arhitectonic de mari dimensiuni, cu moloane variate ca forme și mărimi, cu orientări diferite, expus unui microclimat destul de agresiv, procesele de degradare pe calcar prezintă o amploare și o diversitate rareori întâlnită în alte edificii din București.

Stările de degradare de slabă intensitate se găsesc doar pe unele porțiuni ale clădirii, fiind concretizate prin ***acoperirea suprafețelor*** componentelor litice ***cu praf sau / și cu dejecții de păsări***. Examenul microscopic al depozitului de praf, obținut prin răzuire, a semnalat următoarele componente: (1) cristale de filosilicați și cuarț cu dimensiuni sub 0.2 mm; (2) agregate micro și cripto-cristaline de calcit provenite din dezagregarea foarte puternică a mortarelor de var; (3) particule opace de cărbune (funingine); (4) particule având forme scheletice, cu dimensiuni sub 0.2 mm, de natură vegetală; (5) fibre de mase plastice; (6) corpuri chitinoase provenite de la insecte; (7) polen; (8) corpuri sferice sticloase provenite din fumul termocentralelor. Slaba cimentare locală a granulelor s-a realizat prin intermediul unor cristale scheletice de sulfați, predominant magnezieni.

Un stadiu mai evoluat de degradare este formarea ***cruste negre aderente*** (melanocrusta). Prin analiza microscopică pe secțiuni transversale și tangențiale, combinată cu analiza prin difractometrie RX, s-a confirmat natura predominant gipsiferă a crustei negre. Subordonat apar particulele de cărbune (incluse în cristalele de gips) și calcit criptocristalin. Pe crusta neagră, local, sunt suprapuse ***biocruste***.

În secțiunile transversale efectuate pe stratul de crustă neagră s-a remarcat că tranziția de la crustă la calcarul-suport este gradată, fapt datorat structurii poroase a calcarului, ce a permis formarea gipsului nu doar pelicular, ci și pe pereții porilor din profunzime, conectați cu suprafața. Zonele umbroase au fost preferate de coloniile de briofite, dar elementul care a ajutat cel mai mult la dezvoltarea lor îl reprezintă sistemul de pori cu totul particular al calcarului, care permite absorbția unei cantități apreciabile de apă și menținerea acesteia un interval de timp mai mult decât în alte tipuri de roci.

Eflorescențele saline sunt foarte accentuate în zonele de intrados ale moloanelor din zona acoperișului sau la rosturile dintre moloanele afectate de circulația apei prin difuzie. Componentii minerali esențiali sunt diverși sulfați foarte solubili în apă (epsomit, alaun, arcanit, mascanit), subordonat fiind și azotații alcalini.

O degradare mult mai profundă și, din păcate, destul de frecvent întâlnită, este cea care a afectat esența mineralogică și structurală a calcarului, ca urmare a reacției dintre calcar și agenții de degradare din mediul ambiant. Este o degradare complexă, la care au concurat (și concurează încă) diverse procese elementare: ***dizolvarea*** (mai mult sau mai puțin selectivă), ***dezagregarea***, ***oxidarea fierului din mineralele carbonatice***, ***fisurarea termogenă***, ***fracturi de natură antropogenă*** sau ***seismogenă***.

Degradarea rocii din edificiul Băncii Naționale este controlată cinetic nu doar de natura petrografică, dar și de suprafața specifică a componentului litic și timpul de expunere a acestuia la agenții climatici (insolație, ploaie, vânt, abraziune eoliană etc) (fig. 8). Este evident faptul că, zonele cu mari detalii sculpturale (capiteluri și grupurile statuare) sunt mult mai degradate decât moloanele paralelipipedice. Ca urmare a degradărilor profunde, o parte din componentele litice ale ansamblului arhitectonic au căpătat lacune, prin pierdere de masă, prin concursul dezagregării și fisurării sau prin șocuri antropogene.

Pentru a se da o imagine totalitară asupra tipurilor de degradare, a intensității și poziționării acestora în monument, s-a efectuat un ***relevu al degradării*** de mare detaliu, înaintea operațiilor de restaurare.

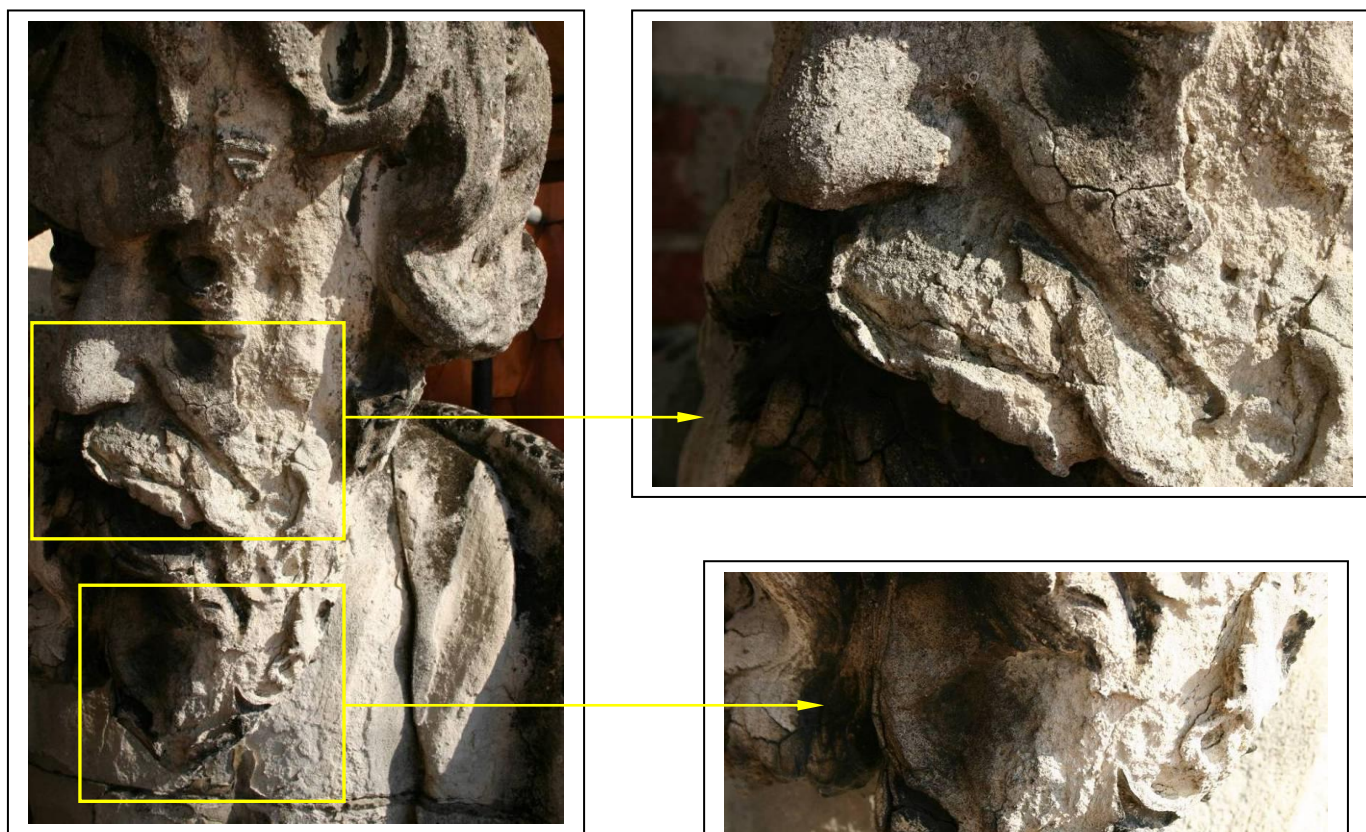


Fig. 8. Banca Națională. Componentă artistică al cărui suport petrografic este grav deteriorat prin concurența dizolvării, dezagregării, termofisurării, crustificării și biodegradării (imagine înainte de restaurare).

Intervenții de conservare – restaurare realizate la Banca Națională

Operațiile de restaurare ale componentelor litice din edificiului Băncii Naționale au fost precedate de elaborarea unui relevu al degradării monumentului și s-au efectuat într-o anumită succesiune:

Tratamentul de biocidare și îndepărtare a crustelor de licheni. Biocidarea s-a efectuat cu un produs bazat pe săruri cuaternare de amoniu în soluție apoasă, prin pulverizare și / sau pensulare. Îndepărtarea biocrustelor grosiere s-a efectuat manual, prin periere sau cu bețișoare din lemn de bambus, cu duritate mai mică decât cea a calcarului suport.

Îndepărtarea depunerilor slab aderente. Depunerile slab aderente au fost îndepărtate prin măturare, periere și aspirare. Înlăturarea petelor de vopsea s-a executat manual, cu bisturiul sau instrumente de uz dentar și numai în cazuri delicate s-a folosit tehnologie pe bază de ultrasunete și solvenți organici. Crustele foarte groase din concavitățile detaliilor sculpturale, precum și cele insulare de pe suport friabil au fost îndepărtate manual, cu ajutorul frezelor stomatologice. Îndepărtarea sărurilor din eflorescențe s-a realizat în prima fază prin periere uscată, după care s-au aplicat serii de comprese succesive cu pastă de hârtie și apă demineralizată. Prin această metodă au putut fi extrase inclusiv sărurile din suportul litic. În zonele cu eflorescențe mai persistente, fixate pe suport foarte friabil (în zone de importanță artistică deosebită), s-au folosit rășini schimbătoare de anioni.

Pentru **înlăturarea materialului necorespunzător din chituirile și plombările anterioare** au fost utilizate instrumente de uz dentar și microincizoare pneumatice.

Consolidarea zonelor superficiale friabile. Ținându-se cont de natura carbonatică, am preconizat consolidarea cu soluții pe bază de silicați de etil (OH).

Tratarea fisurilor și fixarea / replantarea desprinderilor. Operațiunea a vizat consolidarea suprafețelor în care apar fisuri izolate sau sisteme de fisuri în zona superficială a componentelor litice, prin aplicarea unui liant. La fisurile larg deschise care afectează calcarul nedezagregat, s-a aplicat injectarea cu mortar de restaurare cu granulație fină și fluiditate corespunzătoare. În cazul în care fisurația s-a dezvoltat pe un calcar friabil, a fost necesară o preconsolidare a rocii cu silicat de etil sau cu emulsii acrilice.

Chituiri, plombări și reconstrucții volumetrice. Părțile lipsă din componentele litice, precum și a materialului de îmbinare a moloanelor (mortare de rost) au fost completate utilizând materiale fabricate special, în acord cu natura petrografică (calcaroasă) a edificiului Băncii Naționale. Pentru refacerea patinei, atât pe suportul litic unde aceasta a dispărut pe cale naturală (datorită dizolvării și a eroziunilor superficiale), cât și pe zonele nou refăcute cu mortare de restaurare, s-au folosit pigmenți minerali naturali în suspensii apoase.

Tratamentul protectiv de hidrofobizare a calcarului a fost ultima operație de intervenție, menită să confere suprafețelor litice o rezistență sporită la contactul cu apa. S-a folosit o soluție hidrofugă pe bază de xiloxani în solvent organic.

În urma tuturor operațiilor enumerate, componentele litice cu valoare artistică din monument și-au recăpătat integritatea și estetica originală, precum se vede, spre exemplu, în fig. 9.

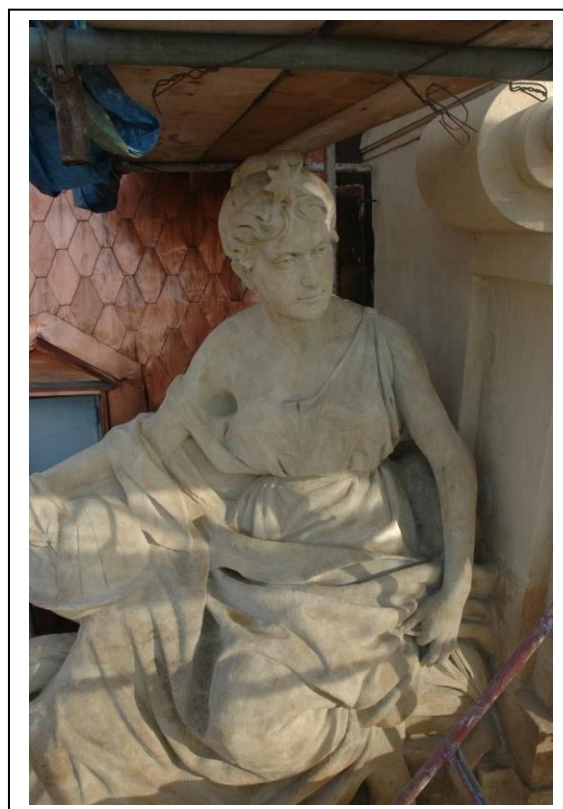
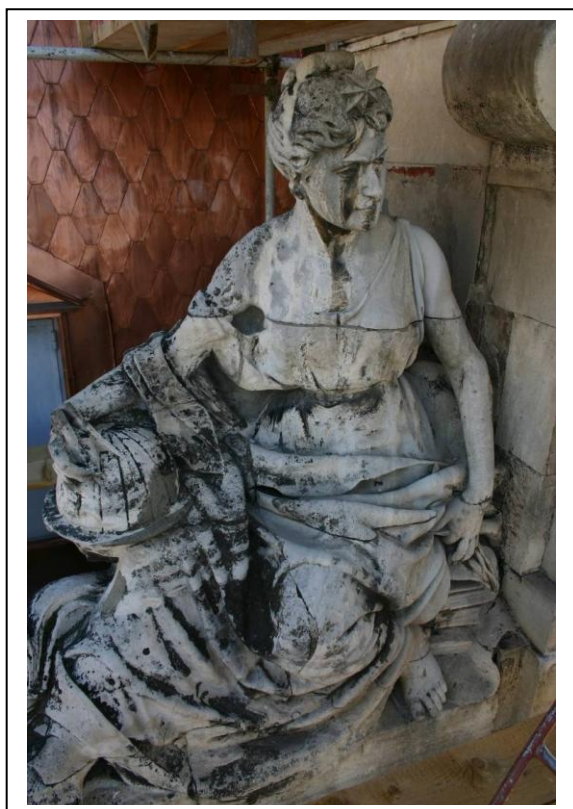


Fig. 9. Aspecte comparative: înainte și după intervenția de conservare - restaurare.

Capitolul 6. CONCLUZII

În componentele litice ale edificiilor și operelor de artă din patrimoniul românesc găsim o impresionantă diversitate de roci, provenite, în majoritate, de pe teritoriul actual al țării noastre.

După punerea în operă, rocile, fiind extrase din condițiile lor naturale, au intrat inevitabil sub incidența diferitelor procese de degradare ale căror cauze, esențe și efecte sunt prezentate în capitolul 2. Cele mai importante procese de degradare sunt controlate calitativ și chiar cinetic de

compoziția mineralogică și structura petrografică a rocii. Cunoscându-se esența petrografică, pe de o parte și agenții concreți ai degradării, pe de altă parte, se poate trasa cu certitudine tendința și calitatea degradării, dacă roca, după punerea în operă, se menține în ambianța aceluiași agenți nocivi. În cazul unor procese, ca de exemplu cel de formare a crustelor de alterare, putem merge mai departe și să abordăm chiar și *viteza procesului* – un parametru foarte important în alegerea măsurilor de protejare a rocii.

Una din concluziile cele mai importante ale tezei este că, înainte de a se alege metoda și materialele necesare restaurării, sunt obligatorii următoarele două etape preliminare: 1) studiul compoziției mineralogice și structurale a rocii (și, dacă este posibil, cu precizarea proprietăților fizico-mecanice ale rocii nedegradate și a zăcămintului din care a fost extrasă); 2) descifrarea proceselor specifice care au contribuit la degradarea rocii, cu precizarea corectă a cauzelor, mecanismelor și efectelor înregistrate de rocă. În felul acesta, restaurarea apare doar ca o etapă finală a unui studiu integrat, așa cum este exemplificat în capitolul 5 al tezei de față.