

UNIVERSITATEA BABEȘ-BOLYAI CLUJ-NAPOCA

Facultatea de Biologie-Geologie

Departamentul de Geologie

**Studiul petroarheometric al
materialului litic folosit la
construirea Mănăstirii Cisterciene
Cârța, Județul Sibiu**

REZUMAT

Doctorand

Anamaria MIHĂILĂ

Coordonator științific

Prof. Dr. Sorin FILIPESCU

CLUJ-NAPOCA

2012

CUPRINS

Mulțumiri	4
INTRODUCERE	6
1 Mănăstirea Cisterciană Cârța.....	8
1.1 Istoria monumentului	8
1.2 Lucrări de restaurare și conservare anterioare studiului	12
2 Fundamentarea teoretică a studiului	15
2.1 Rocile sedimentare – Gresile	15
2.2 Procesele de degradare a rocilor de construcție	17
2.2.1 Factorii care determină degradările	17
2.2.2 Tipuri comune de degradări la gresii	19
2.3 Contextul geologic	25
2.3.1 Geologia Bazinului Transilvaniei	25
2.3.1.1 Megasecvența Miocenului mediu și superior	27
2.3.2 Caracterizarea geologică a zonei de sud a Bazinului Transilvaniei	28
2.4 Influența factorilor climatici	30
3 Metodologia de lucru	35
3.1 Anamneza	35
3.2 Investigarea aflorimentelor pentru determinarea zonei de proveniență	36
3.3 Prelevarea de probe	37
3.4 Investigații și măsurători in situ	39

3.4.1	Investigații macroscopice	39
3.4.2	Cartarea monumentului	39
3.4.2.1	Cartarea tipurilor de materiale de construcție	42
3.4.2.2	Cartarea vitezei de propagare a sunetului	42
3.4.2.3	Cartarea umidității la suprafață	44
3.4.3	Determinarea tipurilor de degradări	46
3.5	Analize de laborator	53
3.5.1	Microscopie optică	53
3.5.2	Granulometrie	55
3.5.3	Microscopie electronică (SEM)	58
3.5.4	Difracție de raze X	59
3.5.4.1	Analize de raze X pe probă totală	60
3.5.4.2	Analize de raze X pe minerale argiloase	60
3.5.5	Analize de săruri	61
3.5.6	Conținutul de CaCO ₃	62
3.5.7	Porozitate	63
3.5.8	Viteza de propagare a pulsațiilor ultrasonice	63
4	Rezultatele analizelor executate asupra materialului litic utilizat la	
	Mănăstirea Cisterciană Cârța	65
4.1	Zona de proveniență	65
4.2	Analize neinvazive	66
4.2.1	Cartarea după tipurile de materiale	67
4.2.2	Cartarea vitezei de propagare a sunetului	72
4.2.3	Cartarea umidității la suprafața materialului	77
4.2.4	Analiza macroscopică a proceselor de degradare	82

4.3 Analize de laborator	92
4.3.1 Difractometrie de raze X	92
4.3.1.1 Compoziția mineralogică	92
4.3.1.2 Mineralele argiloase	94
4.3.2 Granulometrie	97
4.3.3 Microscopie optică	101
4.3.4 Analiza microscopică a proceselor de degradare	109
4.3.5 Microscopie electronică (SEM)	117
4.3.6 Porozitate	119
4.3.7 Viteza de propagare a pulsațiilor ultrasonice	121
5 Observații și discuții privind metodele de restaurare	122
6 Concluzii	123
Bibliografie	127

Cuvinte cheie: monumente istorice, Mănăstirea Cisterciană Cârța, degradare, material litic, cartare, gresii, Sarmațian.

Introducere

Monumentele construite din piatră reprezintă o parte importantă a patrimoniului istoric și cultural mondial. În România multe dintre aceste monumente se află într-o stare avansată de degradare. Pentru a se evita pierderea irecuperabilă a acestei moșteniri culturale sunt necesare studii care să evalueze corect procesele de degradare și să propună soluții corecte și viabile de conservare.

Scopul principal al acestui studiu este de a caracteriza materialul litic utilizat la construirea Mănăstirii Cisterciene Cârța, de a identifica degradările produse în urma acțiunii diversilor factori exogeni și de a estima capacitatea materialului litic de a rezista unui eventual proiect de restaurare a monumentului, ca prim pas într-o inițiativă coerentă de conservare a monumentului.

Decizia privind alegerea monumentului pentru acest studiu a fost motivată de importanța sa istorică, valoarea sa arhitecturală, dar și starea avansată de degradare a zidurilor.

Studiul materialelor folosite la construcții cu valoare de patrimoniu solicită utilizarea de metode cât mai puțin invazive. În cazul edificiului de la Cârța, pentru a limita la minimum agresiunea asupra construcției, am utilizat câteva metode specifice de măsurare și cartare, fiind acordată atenție identificării macroscopice a proceselor de degradare.

Rezultatele cartărilor și observațiilor directe asupra stării materialului litic au permis luarea unor decizii privind metodele de probare, materialele utilizate și tipurile de analize de laborator necesare pentru determinarea compoziției mineralogo-petrografice, a proceselor de degradare și cauzelor acestora, precum și stabilirea sursei de proveniență a materialului litic.

În capitolele următoare vor fi prezentate unele procese specifice de degradare a materialului litic. De asemenea, s-a studiat modul în care orientarea geografică a edificiului influențează dezvoltarea unor procese tipice de degradare datorită expunerii la insolație, umezeală și eroziune eoliană, cât și datorită proprietăților moștenite din mediul depozițional (compoziție mineralogo-petrografică, granulometrie, porozitate etc.).

Au fost discutate în final și câteva tehnici de restaurare și conservare a materialului, care ar putea fi utilizate în cazul edificiului de la Cârța. Sunt exemplificate atât metode tradiționale și mai puțin costisitoare, cât și soluții moderne. Chiar dacă decizia privind alegerea unor soluții viabile pentru restaurare și conservare nu ne aparține, sperăm ca studiul de față să fie un punct de plecare pentru salvarea a ceea ce a mai rămas din Mănăstirea Cisterciană de la Cârța.

1. Mănăstirea Cisterciană Cârța

1.1 Istoria monumentului

Stilul arhitectural particular al edificiului de la Cârța este asociat ordinului călugăresc catolic cistercian. Mănăstirea de la Cârța a fost amplasată în jumătatea vestică a Țării Făgărașului. Atelierele de pietrari din acea vreme au fost mesagerii și pionierii stilului gotic în Transilvania (Busuioc - von Hasselbach, 2000).

A fost fondată sub domnia regelui Andrei al II-lea al Ungariei la începutul secolului al XIII-lea și în 1474 a fost desființată de către regele Matei Corvin.

La construcție s-a folosit piatră fasonată doar pentru detaliile arhitecturale, zidurile mănăstirii fiind ridicate în rest din piatră brută sau piatră de râu.

Studiul de față s-a concentrat pe portalul principal de pe fațada vestică și fereastra geminată de la fosta sală capitulară. Se presupune că acestea au fost ridicate în etape diferite.

Clădirea principală a mănăstirii (fosta navă a bisericii) are 60 m în lungime pe direcția E-V, transeptul este de 30 m lățime, iar înălțimea e de aproximativ 25 m. Lungimea totală a complexului arhitectural este de peste 80 m pe direcția N-S.

1.2 Lucrări de restaurare și conservare anterioare studiului

Deși de-a lungul istoriei mai multe evenimente au produs pagube importante acestui edificiu, doar câteva restaurări sau încercări de restaurare au avut loc de-a lungul anilor.

Cea mai importantă și de amploare restaurare din ultimele două secole a avut loc între anii 1913-1914. Roca utilizată atunci a fost tuful vulcanic. În anii 1960 și în anii 1980, pentru umplerea unor goluri s-a utilizat beton, un material

inadecvat pentru o restaurare, care a condus în unele cazuri la avansarea procesului de degradare.

2. Fundamentarea teoretică a studiului

Pregătirea studiului efectiv a necesitat abordarea unor aspecte teoretice menite să clarifice principiile de lucru și contextul în care s-au produs procesele exemplificate în studiul de caz.

2.1. Rocile sedimentare – Gresiile

Rocile sedimentare sunt cel mai frecvent folosite la situl studiat. Pentru rocile arenitice coezive am utilizat clasificarea propusă de Folk în 1968.

2.2. Procesele de degradare a rocilor de construcție

Degradarea rocilor este rezultatul unei game largi de procese, care pot să acționeze separat sau simultan. De aceea este nevoie să se pună accentul pe studiul relațiilor dintre procese, forme de degradare, proprietăți ale rocilor și condițiile specifice de mediu (Turkington & Paradise, 2005).

Clasificarea concepută de Fitzner a fost utilizată la nivel internațional ca bază pentru cartarea degradărilor de la fațadele monumentelor. Sistemul de clasificare a fost fundamentat de Fitzner et al. (1992) și ilustrat ulterior de Fitzner și Heinrichs (1994).

2.2.1. Factorii care determină degradările

Rocile utilizate ca material de construcție suferă în timp diverse degradări, de natură fizică sau chimică, sub influența diferitor factori, determinând schimbări de culoare, textură, rezistență mecanică, compoziție chimică sau a altor proprietăți a materialului inițial.

Majoritatea cristalelor care intră în compoziția rocilor au proprietăți care variază cu diferitele direcții din cristal, cum ar fi dilatarea lor de-a lungul direcțiilor cristalografice odată cu creșterea temperaturii. În urma acestui proces, rocile sunt afectate mai mult la suprafața materialului decât în profunzime (Koch et al., 2008).

Cele mai eficiente procese în degradarea la suprafață a rocilor pornesc de la înghețul apei din porii materialului, presiunea rezultată din cristalizarea gheții

ducând la procese de slăbire a structurii rocii (Koch et al., 2008). Un proces similar de degradare poate să apară datorită presiunii de cristalizare care apare la formarea unor săruri (Hosono et al., 2006).

Reacțiile chimice acide sau bazice pot determina disoluția cimentului și uneori a unor claste din interiorul rocii. Aceste procese afectează mai ales mineralele carbonatice solubile (Winkler, 1966; Koch et al., 2008).

Activitatea antropică a crescut concentrațiile poluanților din atmosferă (Price, 1996). Degradarea rocilor în zonele urbane este mult mai ridicată decât în cele rurale, datorită atmosferei urbane îmbogățită cu CO₂ și sulfați rezultați mai ales prin arderea combustibililor fosili.

Printre factorii care determină degradarea rocilor se numără și acțiunea microorganismelor și a plantelor care trăiesc pe suprafața sau în interiorul rocii.

2.2.2. Tipuri comune de degradări la gresii

Studiile referitoare la degradarea rocilor tind să devină reduționiste prin utilizarea microscopiei pentru examinarea proceselor la micro și nano scară (Turkington & Paradise, 2005). Studiile asupra gresiilor afectate de poluare în zonele urbane includ exemple de cruste negre pe clădiri (Nord & Tronner, 1995), deteriorări ale gresiilor expuse (Halsey et. al, 1995) și pierderi de material de pe fațade datorită efectului sărurilor (Turkington & Smith, 2000). Există o dispută dacă aceste depuneri și cruste pot acționa ca strat protector sau dacă acestea funcționează ca rezervor pentru potențialele săruri distructive care pot astfel migra sub suprafața rocii (McAlister, 2006).

Transportul umezelii în rocile sedimentare se datorează în principal forțelor capilare, astfel cationii solubili pot să fie transportați din interiorul rocii către suprafața acesteia și să determine formarea de cruste (Koch & Sobott, 2008; Koch et al., 2008; Răcățianu, 2010).

În ultima perioadă a crescut interesul referitor la natura biodeteriorării rocilor și la rolul materialului biologic în erodarea suprafețelor. Unii cercetători (Lee & Prason, 1999) au sugerat un rol mai mult protector decât distructiv al lichenilor eliptici pe anumite tipuri de roci, însă, în general, se consideră că aceste contaminări microbiale contribuie semnificativ la accelerarea proceselor de degradare (Warscheid & Braams, 2000).

2.3. Contextul geologic

2.3.1. Geologia Bazinului Transilvaniei

Bazinul Transilvaniei este situat intra-carpatic delimitat de Carpații Orientali și Meridionali, iar la vest separat de bazinul Pannonic prin Munții Apuseni și reprezintă o arie de sedimentare majoră.

Cenozoicul din Transilvania este legat de evoluția câtorva bazine sedimentare succesive, care au generat secvențe majore (Krézsek & Bally, 2006).

2.3.2. Caracterizarea geologică a zonei de sud a Bazinului Transilvaniei

Limita sudică a Bazinului Transilvaniei este reprezentată prin marginea de nord a Munților Făgăraș, Cibin și Sebeș, alcătuită dintr-un complex de roci metamorfice (Ilie, 1955).

Zona situată la nord de Munții Făgăraș se prezintă sub forma unui mare bazin de eroziune, Bazinul Făgărașului, de vârstă Pliocen superior – Cuaternar (Paucă et al., 1965).

Mediile caracteristice Sarmațianului din sudul Bazinului Transilvaniei, sunt: fluviale, marine marginale (paralice), de rampă marină puțin adâncă (plajă submersă, șelf proximal-median) și turbiditice adânci (Silye, 2010).

În vecinătatea localității Colun au fost identificate două aflorimente, unde Ilie (1955) descria Sarmațianul ca fiind bine reprezentat prin nisipuri, gresii micacee cu suprafețe concreționare, gresii conglomeratice, conglomerate mărunte cu resturi de bivalve și argile nisipoase.

2.4 Influența factorilor climatici

Toți factorii climatici interconectați (temperatură, precipitații, vânturi) influențează deopotrivă degradarea în timp a materialelor utilizate la construcții.

Variațiile de temperatură determină numărul ciclurilor îngheț-dezghet care au o influență ridicată în dezagregarea mecanică a rocilor ca rezultat al expansiunii apei în momentul înghețului.

Cantitatea de precipitații condiționează volumul de apă care se infiltrează în pori și astfel influențează atât dezagregările fizice care apar, cât și dizolvarea sărurilor prezente.

Ilustrarea și evaluarea cantitativă a diferitelor forme de degradare poate fi detaliată după diferitele materiale, dar și în funcție de caracteristicile legate de expunerea acestora, ca localizarea, geometria sau orientarea.

3. Metodologia de lucru

În cele ce urmează vor fi prezentate principalele metode de investigare a materialului litic din construcțiile istorice și modul de aplicare a acestora în cazul sitului complexului Mănăstirii Cisterciene de la Cârța.

3.1 Anamneza

Anamneza a fost făcută după recomandările lui Fitzner (2002) cuprinde aspectele importante referitoare la identificarea monumentului, localizarea acestuia, descrierea istorică și în contextul artelor și restaurările sau lucrările anterioare.

3.2 Investigarea aflorimentelor pentru determinarea zonei de proveniență

Probele de roci neafectate de degradări trebuie prelevate din carierele cunoscute ca fiind utilizate la ridicarea monumentului studiat. În cazul nostru nu a existat o menționare exactă a locației carierei de unde s-a exploatat gresia, fiind precizată doar zona satului Colun. După efectuarea analizelor de laborator, eșantioanele de gresii prelevate din aceste locații au fost comparate cu gresiile utilizate la Cârța.

3.3 Prelevarea de probe

La Cârța probele prelevate au fost de dimensiuni reduse și puține la număr, din blocuri degradate și din zone unde materialul se desprindea ușor.

3.4 Investigații și măsurători in situ

Studiul a necesitat diagnoze atente ale deteriorărilor, pentru caracterizarea, interpretarea și evaluarea degradării rocilor.

3.4.1 Investigații macroscopice

Investigațiile macroscopice pe care le-am executat in situ asupra materialului litic se referă la tipurile de rocă utilizate, descrierea culorii rocilor, diferențele de granulometrie vizibile cu ochiul liber sau cu lupa.

3.4.2 Cartarea monumentului

Pentru procedura de cartare am utilizat fotografiile detaliate ale portalului și ferestrei geminate, care au fost folosite ca și fundal pentru efectuarea cartărilor. Pentru desenarea fiecărui bloc de piatră s-a folosit Aiptek media Tablet 14000U, după importarea imaginilor în Corel Draw. A fost desenat apoi conturul fiecărui bloc de piatră, iar blocurile astfel desenate au fost apoi numerotate în funcție de poziționarea lor.

3.4.2.1 Cartarea tipurilor de materiale de construcție

Blocurile delimitate și numerotate conform poziției au fost apoi colorate diferit pe cartare, în funcție de tipurile de materiale utilizate.

3.4.2.2 Cartarea vitezei de propagare a sunetului

În această cartare au fost reprezentate zonele cu diferite viteze de propagare a sunetului prin materialul utilizat la construcția porțiunilor de construcție luate în studiu (portal și fereastră). Am atribuit diferite culori pentru diferențierea măsurătorilor *in situ*, acestea corespunzând și gradului de degradare a blocurilor.

3.4.2.3 Cartarea umidității la suprafață

Acest tip de cartare se realizează după măsurarea valorilor de umiditate la suprafața materialului de construcție cu ajutorul dispozitivului GANN Hydromette Compact B. Datele astfel obținute au fost apoi transpuse pe cartările simple ale locațiilor studiate și transformate cu ajutorul programului ArcGIS în hărți ale

umidității la suprafața materialului. Acestea au fost ulterior suprapuse cartărilor simple cu blocurile de material.

3.4.3 Determinarea tipurilor de degradări

Tabelul complet de clasificare a formelor de degradare, împreună cu definițiile, parametri corespunzători pentru clasificarea intensităților și atlasul de fotografii a alterărilor au fost prezentate de Fitzner et.al în 1995, iar în 2002 Fitzner și Heinrichs au publicat o variantă actualizată a clasificării formelor de degradare. Aceasta din urmă a fost utilizată pentru identificarea tipurilor de degradări prezente la zidurile Mănăstirii Cisterciene Cârța.

3.5 Analize de laborator

3.5.1 Microscopie optică

După realizarea secțiunilor subțiri, acestea au fost studiate la un microscop polarizant de tip Zeiss Axioskop, iar imaginile la microscop au fost realizate cu aparatul ProgRes C10 corelat cu programul compatibil ProgRes Capture Pro 2.0.

Deoarece secțiunile subțiri au fost realizate prin impregnarea probelor înaintea tăierii și cuprinderea în secțiuni a părții mai degradate a rocii (exteriorul), unele forme de degradare au fost ușor de identificat la scară microscopică.

3.5.2 Granulometrie

S-au realizat pe secțiuni subțiri prin măsurarea dimensiunii a peste 300 de claste din fiecare probă pentru o bună acuratețe a datelor statistice. Am folosit scara logaritmică phi, unde $\Phi = -\log_2 d$ (d – diametrul clastelor). Cu ajutorul acesteia am reprezentat grafic curbele cumulative de frecvență granulometrică, care au fost ulterior folosite la calcularea granulației medii (M) și a coeficientului de sortare (S_o) după Folk și Ward (1957).

3.5.3 Microscopie electronică (SEM)

Microscopul electronic cu baleiaj utilizat pentru analiza probelor studiate a fost TESCAN Vega 2 XMU, aflat la Universitatea Freidrich-Alexander, Erlangen.

3.5.4 Difractometrie de raze X

Analizele de raze X reprezintă procedura clasică de determinare a compoziției mineralogice și cea mai eficientă metodă pentru identificarea mineralelor argiloase și a mineralelor de neoformație apărute datorită alterărilor, în special sărurile. Difracțiile de raze X pe gresiile studiate au fost realizate pe majoritatea probelor asemănător metodei descrise de Koch & Rothe (1979).

3.5.4.1 Analize de raze X pe probă totală

Determinarea compoziției mineralogice a gresiilor a fost realizată pe pulberea probelor mojarate. Echipamentul folosit a fost difractometrul Phillips PW 1310 cu radiație de Cu K α filtru Nickel, iar generatorul a fost conectat la 35 kV și 25 mA. Viteza de scanare a fost de 1^o 20/min. Prin această metodă s-a putut estima și ponderea procentuală a diferitelor minerale care intră în compoziția rocii.

3.5.4.2 Analize de raze X pe minerale argiloase

Pentru prepararea probelor pentru analizele argiloase, s-a eliminat CaCO₃, după care fracția mai fină de 2 μ m a fost prelevată din suspensie, care a fost pusă pe o plăcuță de sticlă. Mineralele argiloase, frecvent prezente în fracția clastică a rocilor sedimentare, au un rol important în degradarea acestora, fiind printre cele mai susceptibile la schimbări datorate prezenței apei.

3.5.5 Analize de săruri

Analizele de săruri sunt semi-cantitative și au fost realizate prin metode chimice (Machery Nagel Photometer Nanocolor) pentru identificarea conținutului de nitrați și cloruri. Analizele de săruri sunt frecvent propuse la proiectele de restaurare deoarece sunt metode care implică o tehnică simplă și costuri foarte reduse.

3.5.6 Conținutul de CaCO₃

Pentru a determina cât mai precis conținutul total de carbonat al probei am utilizat metoda „Bombei Carbonatice” (Müller & Gastner, 1971). Tratarea probei cu o soluție de HCl în interiorul recipientului închis ermetic, creează o presiune a CO₂ proporțională cu cantitatea de CaCO₃ din probă.

3.5.7 Porozitate

Analizele au fost efectuate pe fragmente de probe prelevate din atât din locațiile studiate la zidurile de la Cârța, cât și din aflorimentele din aria sursă. S-au calculat cu ajutorul unui porozimetru cu mercur porozitatea inter-particule, intra-particule și porozitatea totală astfel rezultată.

3.5.8 Viteza de propagare a pulsațiilor ultrasonice

S-a calculat viteza de propagare a pulsațiilor a ultrasonice prin material pe două direcții acolo unde a fost cazul (a – paralel și b – perpendicular cu stratificația), pentru a permite ulterior calculul indicelui de anizotropie (a/b).

4. Rezultatele analizelor executate asupra materialului litic utilizat la Mănăstirea Cisterciană Cârța

4.1. Zona de proveniență

Caracteristicile mineralogice, petrografice și paleontologice ale gresiilor care aflorăază pe Valea Fermelor/Valea Mare, la nord-est de satul Colun, au fost comparate cu fragmente de gresii utilizate la zidurile abației de la Cârța. Vârsta depozitelor a fost confirmată de asociațiile micropaleontologice sarmațiene identificate în depozitele de argile în care sunt intercalate gresiile calcaroase studiate în aflorimentul de la Barajul Scoreiu. Unele foraminifere identificate în secțiuni subțiri, confirmă de asemenea vârsta miocen medie a acestora (Mihăilă et al., 2012).

Rocile utilizate la ridicarea mănăstirii au aceeași compoziție mineralogică (inclusiv mineralele grele identificate), aceeași asociație micropaleontologică și dimensiuni apropiate ale clastelor comparativ cu rocile prelevate din aflorimentele de la Colun.

4.2. Analize neinvazive

S-a încercat obținerea de informații cât mai precise și mai concludente prin metode neinvazive de analiză, pentru a evita prelevarea excesivă de probe și astfel afectarea aspectului estetic al monumentului.

4.2.1. Cartarea după tipurile de materiale

După investigații macroscopice, au fost determinate patru tipuri diferite de gresii utilizate la ridicarea portalului (Fig. 1) și a ferestrei geminate (Fig. 2) (Mihăilă & Benea, 2011).

Alături de gresii, care sunt majoritare, au mai fost identificate două blocuri de calcar (tipul 5) care au fost utilizate la cele două frize ale portalului. Fragmente de cărămizi au fost de asemenea utilizate probabil la consolidările mai recente și mai ales la partea estică a portalului (Fig. 1).

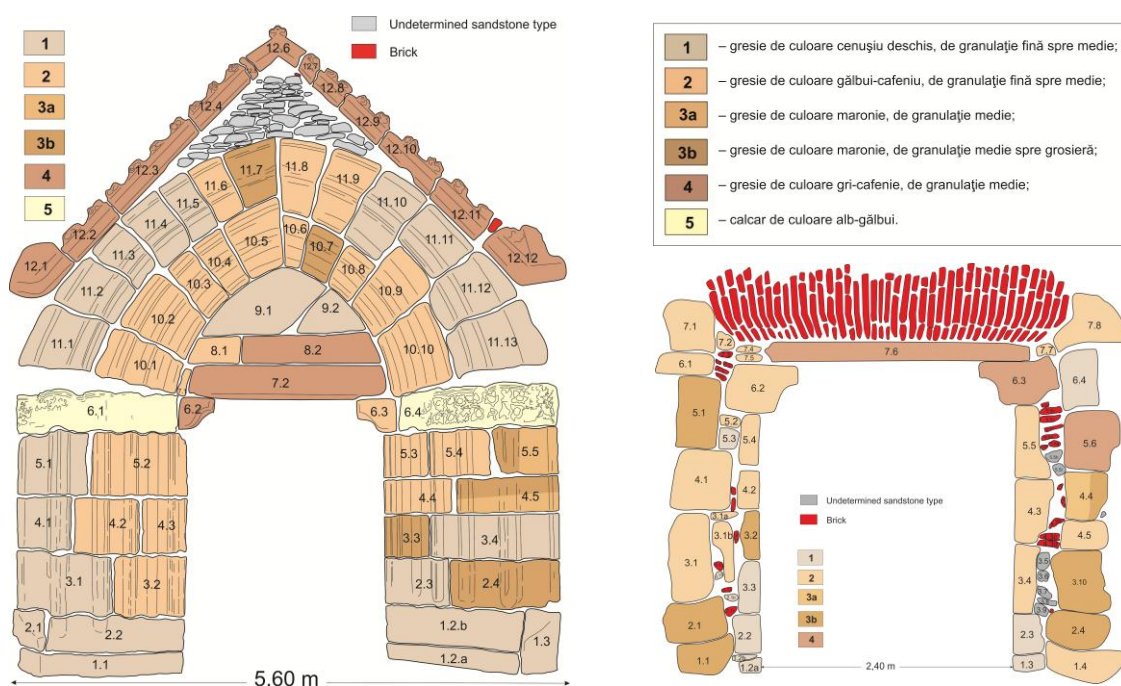


Fig. 1. Cartarea tipurilor de materiale – Portal (vest/ est)

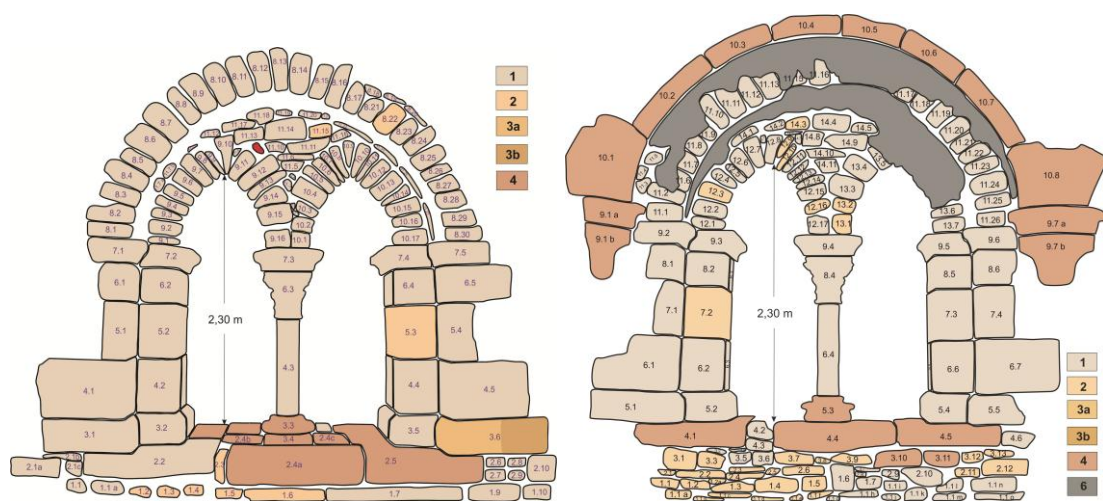


Fig. 2. Cartarea tipurilor de materiale – Fereastră (vest/ est)

Gresia de tipul 1 este majoritar folosită la fereastra geminată (Fig. 2). La portal aceasta este folosită mai ales la blocurile care formează arcadele și coloanele exterioare, cele interioare fiind construite în mare parte cu gresia de tipul 2 (Fig. 1). Doar câteva blocuri de gresii sunt de tipul 3a și 3b și apar preponderent pe partea inferioară dreaptă a portalului. Gresia de tipul 4 este mai dură și mai compactă. Se pare că a fost folosită în zonele cu tensiuni structurale mari și la blocurile superioare ale portalului. În zona estică a portalului nu se observă un șablon de utilizare a diferitelor tipuri de gresii.

4.2.2. Cartarea vitezei de propagare a sunetului

Blocurile sau porțiunile de blocuri marcate cu culoare roșie sunt acelea care, în cazul unui eventual proiect de restaurare, ar trebui înlocuite și/sau tratate cu prioritate, în timp ce blocurile/porțiunile cu blocuri marcate în verde necesită intervenții minore pentru conservare.

În porțiunile vestice se pot observa asemănări între blocurile din partea superioară, atât la portal (Fig. 3) cât și la fereastra geminată (Fig. 4). Blocurile superioare au viteza de propagare a sunetului scăzută și deci un grad de degradare ridicat. La partea vestică a portalului iese în evidență degradarea detaliilor arhitecturale în relief și a arcadelor. Blocurile timpanului construite din gresia de tipul 4 sunt mai puțin afectate de degradări.



Fig. 3. Cartarea vitezei de propagare a sunetului – Portal (vest/ est)

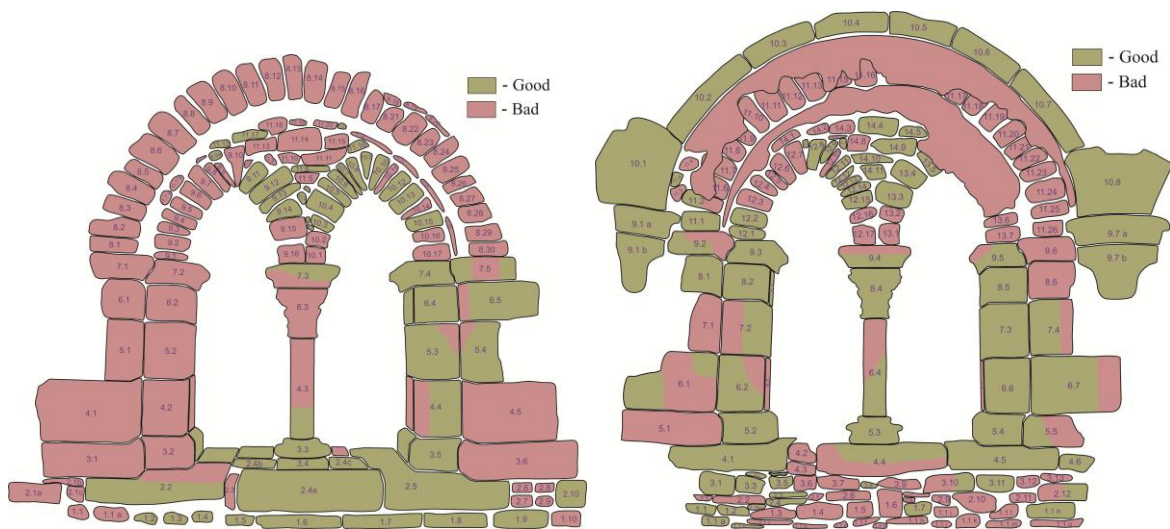


Fig. 4. Cartarea vitezei de propagare a sunetului – Fereastră (vest/est)

Blocurile din partea estică a portalului sunt mai intens deteriorate, fiind cele care au suferit efectele incendiilor din istoria monumentului (Fig. 3). La partea vestică a ferestrei se poate observa o diferență între blocurile de pe partea stângă inferioară și cele de pe partea dreaptă (Fig. 4), fapt evidențiat și la partea vestică a portalului. Diferența de rezistență la factorii care determină degradările intense dintre tipurile de gresie 1 și 4 este pusă în evidență la partea estică a ferestrei geminate (Fig. 4).

4.2.3. Cartarea umidității la suprafața materialului

La partea vestică a portalului, diferențele de valori dintre stânga și dreapta apar datorită orientării acestora. Blocurile superioare (Fig. 5), mai intens afectate de procesele de insolație, au umiditatea mai scăzută. Colonele și arcadele, fiind proeminente, au valori mai ridicate, iar partea dreaptă a portalului are cea mai ridicată umiditate. La partea estică a portalului valorile umidității sunt neomogene.

Partea vestică a ferestrei (Fig. 6) este mai umedă la suprafață decât cea estică. Umiditatea mai ridicată a blocurilor poziționate în baza ferestrei se datorează cel mai probabil migrării ascendente a apei capilare. Partea estică a ferestrei are cele mai scăzute valori la partea superioară, atât la arcadă, cât și pe porțiunile încă acoperite cu mortar.

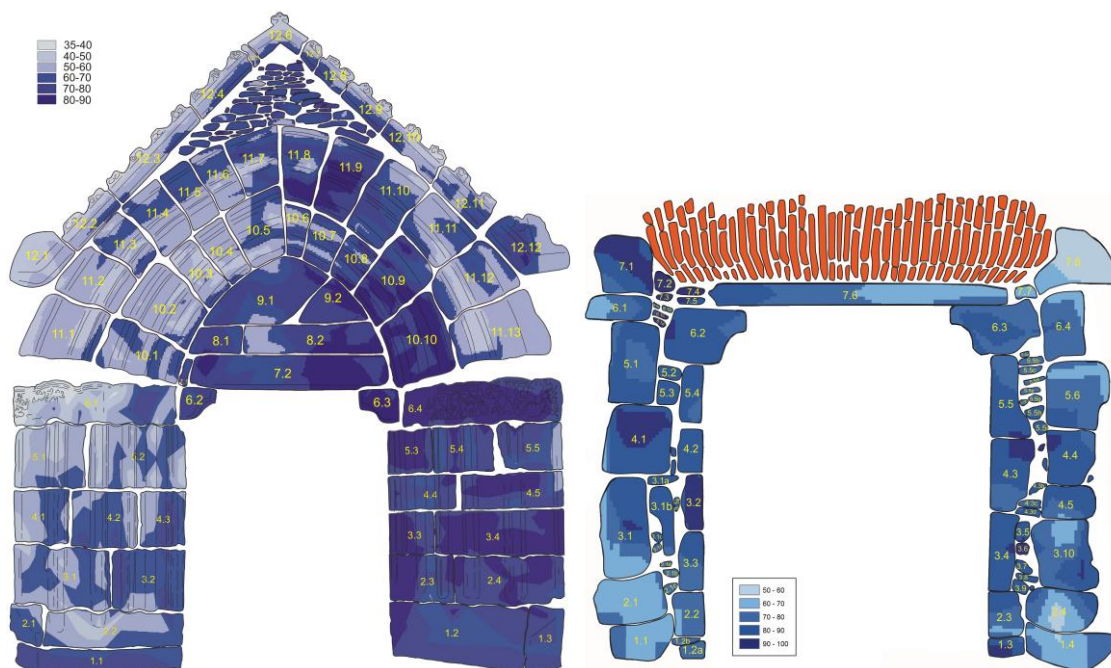


Fig. 5. Cartarea umidității la suprafața materialului – Portal (vest/est)

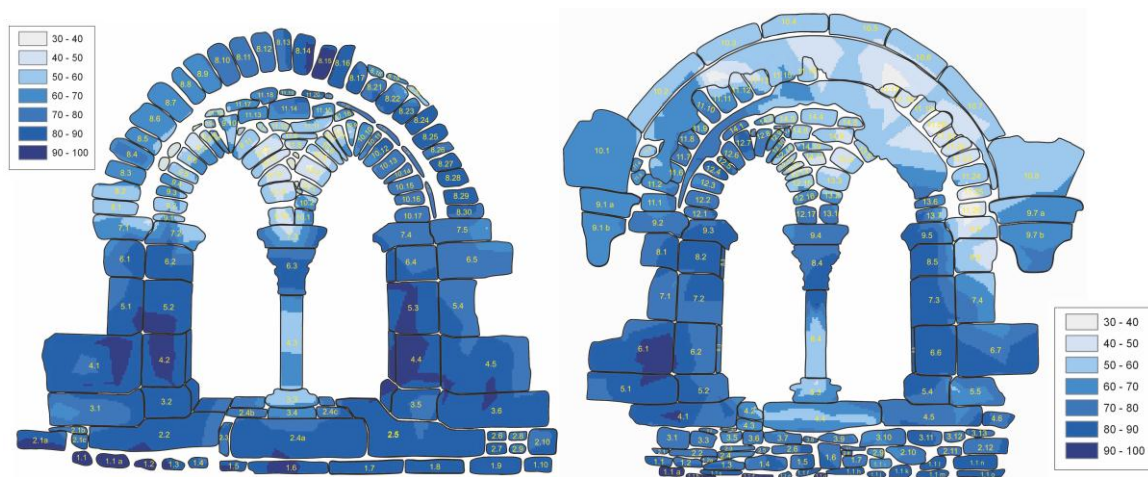


Fig. 6. Cartarea umidității la suprafața materialului – Fereastră (vest/est)

4.2.4. Analiza macroscopică a proceselor de degradare

Părțile vestice sunt afectate de colonizări microbiologice, datorită umezelii și expunerii la factorii climatici care pot genera cruste. Acest mediu este propice și pentru colonizarea de către plante. La fereastra mai apar procese ca exfolierea, dezintegrarea granulară, rotunjirea și crestarea, deprinderile sub formă de fulgi sau desprinderile sub formă de plăci, datorită expandării mineralelor argiloase. Dizolvarea componentelor carbonatice poate determina desprinderea de cruste,

ruperea unor fragmente de rocă și degradarea în profunzime. Pe partea stângă a portalului vestic, degradarea alveolară intensă a gresilor (Mihăilă, 2010) duce la dezintegrarea granulară și la distrugerea în profunzime a elementelor arhitecturale proeminente. Pe porțiunile orientate vestic, blocurile de gresii sunt afectate în special de degradări microbiene, în timp ce pe porțiunile orientate estic sunt mai comune crustele, desprinderile de cruste și colorările.

Oxidarea fierului din unele minerale poate determina pigmentarea rocii într-o culoare roșiatică, datorită incendiilor care au afectat edificiul, în special pe partea vestică a portalului.

4.3. Analize de laborator

4.3.1. Difractometrie de raze X

4.3.1.1. Compoziția mineralogică

Mineralele identificate în gresii prin analizele de difracții de raze X (Tabel 4) sunt cuarț, calcit, feldspați (plagioclazi și microclin), gips și filosilicați în proporții variabile.

Tabel 1. Compoziția mineralogică a gresiiilor după difracțiile de raze X

Proba	Calcit (%)	Cuarț (%)	Feldspați plagioclazi (%)	Microclin (%)	Gips (%)	Total filosilicați (%)	Mice	Caolinit/Clorit
C 1	38.6	40-50	10-12	5-7	-	7-12	XXXX	XX
C FGE 1	39.1	40-50	10-15	5-7	-	7-10	XXXX	X
C FGW 3	36.1	40-50	5-7	3-5	5-7	7-12	XXX	XX
FGE 2	37.6	45-55	7-10	5-7	3-5	10-12	XXXX	X
FGW 2 Cr	36.6	45-55	5-7	3-5	-	5-10	XXXX	X
FGW 4	33.3	45-55	5-7	5-7	-	10-15	XXXX	X
P 1	36.5	45-55	7-10	3-5	-	7-10	XXX	X
P 6	35.1	40-50	8-10	3-5	7-10	10-12	XXXX	XX
P 7	35.1	40-45	15-17	7-10	-	10-15	XXXX	XX
P 7 Cr	30-35	45-55	10-12	7-10	2-5	5-7	XXX	X
PE 3	35.1	45-50	10-15	7-10	-	5-7	XXX	X
PE 4	34.0	40-50	10-12	3-5	3-5	5-10	XXXX	XX
PE 7	37.6	45-55	10-15	3-5	3-5	5-7	XXX	XX

4.3.1.2. Mineralele argiloase

Au fost identificate mice, caolinit, clorit și montmorillonit. Toate probele studiate au concentrație ridicată de mice, acestea fiind majoritare. Caolinitul este de asemenea prezent în toate probele, iar cloritul are un procent mai scăzut.

Smectitele apar în toate probele analizate sub forma de 12 Å montmorillonit în unele probe. La fereastra geminată a fost identificat și 14 Å montmorillonit, ceea ce confirmă faptul că gresiile utilizate la fereastră și la portal au fost probabil luate din orizonturi diferite. Proprietatea smectitelor de umflare/expandare determină degradări intense în rocile care le conțin.

4.3.2. Granulometrie

După efectuarea măsurătorilor de granulometrie s-a calculat atât gradul de sortare al gresiilor, cuprins între 0,55-1,07 (slab sortat – moderat bine sortat), cât și dimensiunea medie a clastelor (117-396 μm).

4.3.3. Microscopie optică

Principalele componente mineralogice sunt cele puse în evidență prin studiul difracțiilor de raze X. De asemenea, prin studiul secțiunilor subțiri au fost identificate și mineralele grele, acestea având importanță în confirmarea zonei de proveniență a materialului utilizat (Mihăilă, 2011). Probele sunt litarenite feldspatice cu ciment carbonatic și bioclaste (Mihăilă, 2009). Majoritatea fragmentelor de roci identificate în gresiile studiate sunt de origine metamorfică, însă apar și litoclaste de origine magmatică sau sedimentară. Dintre mineralele grele identificate granatul, zirconul și epidotul apar frecvent, însă subordonat se mai întâlnesc și rutilul și turmalinul.

Au fost identificate diferite bioclaste, mai ales foraminifere reprezentate atât prin forme bentonice, cât și planctonice. Foraminiferele bentonice *Nonion sp. (?)* sunt comune pentru Sarmațian. Zona de proveniență a gresiilor utilizate la Cârța este confirmată de asemenea de unele foraminifere planctonice. Sunt întâlnite și alte alocheme biogene precum fragmente de cochilii de moluște, de coralinacee și echinide, iar uneori briozoare alterate.

4.3.4. Analiza microscopică a proceselor de degradare

Multe din probele studiate au diverse goluri, fisuri și fracturi produse în jurul diferitelor claste, probabil din cauza proceselor de dizolvare sau mecanice. Fisurile din jurul unor claste și fluctuațiile de temperatură pot determina dezintegrări granulare. Fisuri/fracturile paralele cu suprafața rocii determină desprinderile sub formă de fulgi la suprafață. Uneori umiditatea ridicată poate duce la formarea de cruste carbonatice subțiri. Un strat mai gros de colonizare cu licheni poate să apară la suprafața blocurilor cu orientare vestică. Cristale radiale de gips, apărut ca produs secundar, pot forma cruste la suprafață. Pe partea estică a portalului glauconitul prezintă culoare maronie, spre deosebire de restul probelor prelevate unde acesta este tipic verde, fapt care indică degradarea datorată incendiilor.

4.3.5. Microscopie electronică (SEM)

Procesul de degradare prin dezintegrare granulară este prezent mai ales la probele de pe partea estică a portalului. La suprafața cristalelor de calcit apar uneori depresiuni ușor angulare care reprezintă procesul de dizolvare a CaCO_3 datorită apei care se infiltrează în rocă. La blocurile cu orientare vestică unde apar colonizările cu licheni, se observă penetrarea filamentelor acestora în rocă, determinând dezagregarea mecanică a rocii la suprafață.

4.3.6. Porozitate

Porozitatea interparticule (dintre claste) s-a dovedit a fi predominantă pentru gresiile studiate. Valorile variază de la 1,35% (aria sursă), la 2,57% la blocurile estice și 6,3% la cele vestice.

Media porozității interparticule la probele din clădire (3,46%) este ușor mai mare decât la aria sursă, aceasta fiind de fapt porozitatea secundară rezultată în urma proceselor de alterare chimică (ex: dizolvarea CaCO_3) sau de expansiune termică (dezagregare fizică).

4.3.7. Viteza de propagare a pulsațiilor ultrasonice

Viteza ultrasunetelor a fost măsurată atât perpendicular cât și paralel cu stratificația (acolo unde a fost cazul).

Valorile scăzute ale vitezelor ultrasunetelor perpendicular pe stratificație și valorile ridicate ale anizotropiei în gresii sunt rezultatele proceselor de degradare care afectează roca, astfel că valorile anizotropiei sunt scăzute pentru proba din aria sursă (1,03) și medii-ridicate pentru cele deteriorate (1,08-1,25).

5. Observații și discuții privind metodele de restaurare

Restauratorii, arhitecții și cercetătorii din diverse domenii trebuie să colaboreze pentru a afla cele mai potrivite metode. Orice tehnici moderne pot fi folosite pentru conservarea și consolidarea monumentelor, atâta timp cât eficacitatea lor este dovedită de date științifice, iar metodele obișnuite se dovedesc ineficiente. Sunt prezentate unele metode fizice și chimice de conservare/curățare cu avantajele și dezavantajele lor, făcându-se referire la posibilitatea utilizării lor la Cârța.

6. Concluzii

Abația Cisterciană de la Cârța are o valoare inestimabilă atât din cauza istoriei îndelungate, aceasta datând de la începutul secolului al XIII-lea, dar mai ales datorită influențelor asupra stilului gotic din Transilvania. Mănăstirea a suferit de-a lungul anilor numeroase distrugeri, în prezent aflându-se în mare parte sub formă de ruine. Studiul detaliat al materialului folosit la ridicarea mănăstirii este necesar ca bază de plecare pentru o eventuală restaurare și conservare a fostei abații.

Pentru detaliile arhitecturale, unde s-au utilizat blocuri fasonate, s-a folosit același tip de rocă. Gresii studiate, atât din zidurile mănăstirii, cât și din aria sursă, sunt litarenite feldspatice cu ciment carbonatic și bioclaste. S-a putut confirma că zidul sălii capitulare și portalul au fost ridicate în perioade diferite, ultimul fiind construit după invazia mongolă și având caractere gotice mature. La partea estică a portalului nu se observă aceeași atenție pentru detaliu, deoarece gresiile sunt de granulații diferite și cu grade diferite de sortare, probabil pentru că blocurile urmau să fie tencuite.

Gresiile conțin în general aceleași minerale, în proporții ușor variabile: cuarț, calcit, feldspați plagioclazi, microclin, filosilicați (cu o pondere mai mare a

micelor) și minerale grele (zircon, granat, epidot, rutil, turmalină). Gipsul apare în puține probe ca mineral secundar, însă este important deoarece determină deteriorarea blocurilor respective. A fost identificat în două cruste și în patru probe prelevate din blocuri foarte degradate.

Probele colectate de la portal și de la fereastră au fost comparate cu cele prelevate de la Colun, unde află depozite sarmațiene cu gresii calcaroase. Vârsta sarmațiană a gresiilor din zid este confirmată de foraminiferele identificate. Aceste gresii sunt similare cu gresia de la Colun și în ceea ce privește compoziția mineralogică, inclusiv conținutul de minerale grele. Spre deosebire de gresiile de la Colun, se observă o ușoară diferență de granulometrie la unele blocuri folosite la portal, acestea fiind ceva mai grosiere, dar nu infirmă faptul că satul Colun ar fi aria de proveniență a materiei prime litice. Probele de la Colun au valori mai scăzute de porozitate decât cele degradate, atât interparticule cât și valorile totale și nu au anizotropie, spre deosebire de cele deteriorate prelevate din zidurile mănăstirii.

Studiul microscopic al proceselor de degradare pun în evidență alterări aparținând tuturor grupurilor definite de Fitzner & Heinrichs (2000): Pierdere de material, Colorare/Depunere, Desprindere și Fisuri/Deformări.

Zidurile cu orientare vestică oferă condiții optime pentru colonizările biologice, care apar datorită umidității. Umezeala determină și expansiunea mineralelor argiloase, cauzând stres mecanic și slăbind structura rocii, crescând astfel permeabilitatea și ducând la procese de exfoliere și dezintegrare granulară. Insolajia combinată cu disoluția calcitului slăbește legăturile intergranulare și determină apariția de microfisuri care se măresc, generând pori de dimensiuni mai mari. Aceștia în timp duc la procesele de pierdere de material prin rupere. Oxidarea poate determina schimbări de culoare. Din formele de degradare de relief, la partea vestică a portalului foarte vizibilă este degradarea alveolară. La zidurile orientate estic apar frecvent cruste și desprinderi de cruste, dar și colorări evidente ale blocurilor datorate probabil oxidărilor. Acestea apar cel mai probabil din cauza incendiilor puternice care au afectat mănăstirea.

Microscopic, majoritatea probelor prezintă de-a lungul clastelor fisuri/fracturi. De asemenea au mai fost identificate și alte tipuri de porozitate secundară, majoritatea datorate disoluției clastelor carbonatice, care sunt

amplificate de zonele de fracturi. Fracturile paralele cu suprafața rocii permit instalarea de licheni verzi, ceea ce conduce la colonizări biologice intense. Cruste negre formate din creșteri de cristale radiale de ghips pot de asemenea să apară la suprafața gresiilor, culoarea acestora fiind dată de particule de carbon din atmosferă rezultate în principal din arderea combustibililor fosili. Aceste procese de degradare (disoluția calcitului, dezintegrarea granulară și colonizările biologice intense) sunt detaliate de imagini realizate la microscopul electronic.

Mineralele argiloase identificate influențează degradarea gresiilor prin proprietatea acestora de expandare, smectitele fiind reprezentate de montmorillonit, care în unele probe, din totalul filosilicaților, este majoritar după mase.

Degradările puternice sunt rezultatul a mai multor factori, care au impact direct asupra rocii: anizotropia ridicată a gresiilor, porozitatea scăzută, compactitatea și conținutul de CaCO_3 și de minerale argiloase. La aceștia se adaugă factorii externi (clima, orientarea geografică, impactul antropic, etc.), determinând deteriorări moderate până la severe ale materialului de construcție utilizat la Mănăstirea Cisterciană Cârța.

Pentru conservarea și restaurarea gresiilor se pot utiliza mai multe tehnici și metode, fiecare cu avantaje și dezavantaje. Indiferent de metoda propusă pentru consolidarea, protejarea și restaurarea materialului litic, două aspecte importante trebuie luate în considerare: comportamentul rocii la scurt timp după aplicarea tratamentului și monitorizarea pe termen lung. Acest lucru este necesar în special dacă se încearcă conservarea și restaurarea materialului de la Cârța prin metodele chimice descrise. Sugerăm ca în cazul aplicării metodelor fizice acestea să se utilizeze doar la porțiuni de zid fără detalii arhitecturale importante și nu pe porțiuni puternic deteriorate, pentru acele zone fiind mai indicată curățarea cu laser, deși este mai costisitoare.

Pentru a propune o metodă optimă de restaurare trebuie luat în calcul factorul economic și posibilitatea existenței unui proiect efectiv de conservare a monumentului, pe lângă studiul prezentat anterior.

Bibliografie

- BUSUIOC-VON HASSELBACH, D. N. (2000). Țara Făgărașului în secolul al XIII-lea; mănăstirea Cisterciană Cârța. *Fundația Culturală Română, Centrul de studii transilvane*, v. I, 338 p., v. II, 363 p.
- FITZNER, B., HEINRICHS, K. & KOWNATZKI, R. (1992). Classification and mapping of weathering forms. *7th International Congress on Deterioration and Conservation of stone*, 957-968.
- FITZNER, B. & HEINRICHS, K. (1994). Damage diagnosis at monuments carved from bedrocks in Petra, Jordan. In *La conservation dei monumenti nel bacino del Mediterraneo*, ed. V. Fassina, H. Ott and F. Zezza, 663-671.
- FITZNER, B., HEINRICHS, K. & KOWNATZKI, R. (1995). Weatehring forms – classification and mapping. *Dekmalpflege und Naturwissenschaft, Natursteinkonservierung*, I, 41-88.
- FITZNER, B. & HEINRICHS, K. (2000). *Damage index for stone monuments. In Lectures, Short Papers and Enlarged Abstracts of the 5th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin*, 5-8 April 2000, Seville, Spain, Dpto. de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola Facultad de Química. Universidad de Sevilla., 175-176.
- FITZNER, B. (2002). Damage diagnosis on stone monuments - in situ investigation and laboratory studies (English). - *Proceedings of the International Symposium of the Conservation of the Bangudae Petroglyph, 15.07.2002, Ulsan City / Korea*, 29-71.
- FITZNER, B. & HEINRICHS, K. (2002). Damage diagnosis on stone monuments - weathering forms, damage categories and damage indices. In *Prikryl, R. & Viles, H. A. (ed.): Understanding and managing stone decay, Proceeding of the International Conference "Stone weathering and atmospheric pollution network (SWAPNET 2001)", Charles University in Prague, The Karolinum Press*, 11-56.
- FOLK, R. L. & WARD, W. C. (1957). Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. In *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, p. 3-26.
- FOLK, R. (1965). Petrology of Sedimentary Rocks. *Hemphill's, Austin*, 170 p.
- HALSEY, D.P., DEWS, S.J., MITCHELL, D.J. & HARRIS, F.C. (1995). Real time measurements of sandstone deterioration: a microcatchment study. *Build. Environ.* 30 (3), 411 –417.
- HOSONO, T., UCHIDA, E., SUDA, C., UENO, A. & NAKAGAWA, T. (2006). Salt weathering of sandstone at the Angkor monuments, Cambodia:

identification of the origins of salts using sulfur and strontium isotopes. In *Journal of Archaeological Science*, 33, 1541-1551.

- ILIE, M.D. (1955). Cercetări geologice în Bazinul Transilvaniei (regiunea Alba Iulia - Sibiu - Făgăraș - Rupea). In *Anuarul Comitetului Geologic*, v. XXVIII, 251-360.
- KOCH, R. & ROTHE, P. (1979). X-ray mineralogy studies - Leg 43.- In: *Rep. DSDP, XLIII*; Washington, 1019-1041.
- KOCH, R., RĂCĂȚĂIANU, C. & BUCUR, I. (2008). Examples of weathering and deterioration of Tertiary building stones at St. Michael's Church in Cluj-Napoca (Romania). In *Studia Universitatis Babeș-Bolyai, Geologia*, 53 (2), 25-39.
- KOCH, R. & SOBOTT, R. (2008). Sandsteine: Entstehung, Eigenschaften, Verwitterung, Konservierung, Restaurierung. *SDGG, Hannover*, 59, p 35-164.
- KRÉZSEK, C. & BALLY, A.W. (2006). The Transylvanian Basin (Romania) and its relation to the Carpathian fold and thrust belt: Insights in gravitational salt tectonics. *Marine and Petroleum Geology*, 23, 405-442.
- LEE, M.R. & PARSONS, I. (1999). Biomechanical and biochemical weathering of lichen-encrusted granite: textural controls on organic–mineral interactions and deposition of silica-rich layers. *Chem. Geol.* 161, 385– 397.
- MCALISTER, J.J., SMITH, B.J. & TÖRÖK, A. (2006). Element partitioning and potential mobility within surface dusts on buildings in a polluted urban environment, Budapest. In *Atmospheric Environment*, 40, 6780-6790.
- MIHĂILĂ, A. (2009). Preliminary studies of raw materials and weathering processes at Cârța Cistercian Monastery (Sibiu County, Romania). In *Studia Universitatis Babeș-Bolyai, Geologia, Special Issue MAEGS – 16*, p. 125.
- MIHĂILĂ, A. (2010). Mapping, weathering forms and petrographic features – the western portal of Cârța Cistercian Monastery (Sibiu County, Romania). In *Acta Mineralogica-petrographica, Abstract series, IMA2010, 20th General Meeting of the International Mineralogical Association*, Budapest, v. 6, p. 138.
- MIHĂILĂ, A. (2011). Degradarea materialului litic utilizat la Mănăstirea Cisterciană Cârța, județul Sibiu. In *Sesiunea științifică anuală „Ion Popescu Voitești”*: Departamentul de Geologie al Universității Babeș-Bolyai: ed. 61, Cluj-Napoca, 9-10 dec 2011: Abstracte, p. 27-28.
- MIHĂILĂ, A., & BENEĂ, M. (2011). Gresii utilizate ca materii prime la Mănăstirea Cisterciană Cârța (jud. Sibiu, România)/Sandstones used as raw materials at Cârța Cistercian Monastery (Sibiu County, Romania). In

Revista Română de Materiale/Romanian Journal of Materials, 41 (4), p. 352-361.

- MIHĂILĂ, A., RĂCĂȚĂIANU, C. & BENEĂ, M. (2012). Study of Tertiary Sandstones weathering at Cârța Cistercian Monastery (Sibiu County, Romania). In *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* (in press).
- MÜLLER, G. & GASTNER, M. (1971). The "Karbonat-Bombe" a simple device for the determination of the carbonate content in sediments, soils, and other materials.- *N. Jb. Mineral., Mh*, 10, p 466-469.
- NORD, A.G. & TRONNER, K. (1995). Effect of acid rain on sandstone: the Royal Palace and the Riddarholm Church, Stockholm. *Water Air Soil Pollut.* 85, 2719–2724.
- PAUCĂ, M., CLEMENS, A. & TIUTIUCA, S. (1965). Cercetări geologice pe marginea de S a Depresiunii Transilvaniei. *Dări de seamă ale ședințelor*, LI(1), 313-334.
- PRICE, C. A. (1996). Stone Conservation – An Overview of Current Research, *Santa Monica, California, Getty Conservation Institute, J. Paul Getty Trust*. 73 p.
- RĂCĂȚĂIANU, P.C. (2010). Dimension Stones of the Historical City Wall of Cluj-Napoca, Romania: Construction, Weathering, Damages. PhD Thesis, *OPUS Erlangen-Nürnberg, Universitätsbibliothek der Universität Erlangen-Nürnberg*, 250 p.
- SILYE, L. (2010). Sarmatian foraminiferal assemblages from southern Transylvanian Basin and their significance for the reconstruction of depositional environments. Teza de doctorat, Universitatea Babeș-Bolyai, Cluj-Napoca, 194 p.
- TURKINGTON, A.V. & SMITH, B.J. (2000). Observations of three-dimensional salt distribution in building sandstone. *Earth Surf. Process. Landf.* 25 (12), 1317– 1332.
- TURKINGTON, A. V. & PARADISE, T. R. (2005). Sandstone weathering: a century of research and innovation. In *Geomorphology*, 67, 229-253.
- WARSCHEID, Th. & BRAAMS, J. (2000) Biodeterioration of stone: a review. In *International Biodeterioration and Biodegradation*, 46, 343-368.
- WINKLER, E.M. (1966). Important agents of weathering for building and monumental stone. In *Engineering Geology – Elsevier Publishing Company, Amsterdam*, 1(5), 381-400.