

UNIVERSITATEA "OVIDIUS" DIN CONSTANȚA
ȘCOALA DOCTORALĂ DE ȘTIINȚE APLICATE
DOMENIUL DE DOCTORAT: INGINERIE CIVILĂ

***Contribuții privind tehnici și metode de conservare
și restaurare a structurilor constructive realizate
din piatră naturală***

- Rezumatul tezei de doctorat -

Conducători de doctorat:

Prof.dr.ing. **Grănescu Ana Maria**

(Universitatea Ovidius din Constanța)

Ș.l.dr.ing. **Ana Paula Ferreira Pinto**

(Institutul Superior Tehnic din Lisabona)

Student-doctorand,
Ing. **Mihaela Drăgoi**

Constanța - 2014



ROMÂNIA
MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE
UNIVERSITATEA "OVIDIUS" DIN CONSTANȚA
B-dul Mamaia 124, 900527 Constanța
Tel./Fax: 40-241-606467, 511512, 618372, 0723151222
E-mail: rectorat2@univ-ovidius.ro
Webpage: www.univ-ovidius.ro

Către

.....

Vă facem cunoscut că în data de 19.06.2014, ora 16⁰⁰, în Sala de Ședințe a Consiliului de Administrație, B-dul Mamaia nr.124, va avea loc susținerea publică a tezei de doctorat, cu titlul ***"Contribuții privind tehnici și metode de conservare și restaurare a structurilor constructive realizate din piatră naturală"*** elaborată de doctorand inginer **Mihaela Drăgoi**, în vederea conferirii titlului științific de "doctor", în domeniul fundamental „Științe Aplicate”, domeniul de doctorat „Inginerie Civilă”.

Comisia de doctorat este formată din:

Președinte:

Prof.univ.dr. Popa Constantin

(Universitatea Ovidius din Constanța)

Conducători de doctorat:

Prof.univ.dr.ing. Grănescu Ana Maria

(Universitatea Ovidius din Constanța)

Ș.l.univ.dr.ing. Ana Paula Ferreira Pinto

(Institutul Superior Tehnic din Lisabona)

Referenți oficiali:

Prof.univ.dr.ing. Vacăreanu Radu Sorin

(Universitatea Tehnică de Construcții București)

Prof.univ.dr.h.c.ing. Bratu Polidor - Paul

(Universitatea Dunărea de Jos Galați)

Prof.univ.dr.ing. Hâncu Dan Corneliu

(Universitatea Ovidius din Constanța)

Vă trimitem rezumatul tezei de doctorat, cu rugămintea de a ne comunica în scris aprecierile și observațiile dumneavoastră.

e-mail: dragoi.mihaela@gmail.com

fax – 0241-545093

tel:0724309246

Cu această ocazie vă invităm să participați la susținerea publică a tezei de doctorat.



Secretar Șef ISD
Iulian Flota

[Signature]

Mulțumiri

Aș dori să încep prin a mulțumi mentorilor și îndrumătorilor mei științifici, prof. dr. ing. Ana Maria Grănescu și ș.l. dr. ing. Ana Paula Pinto, care prin exigență și dăruire, răbdare, muncă și a lor înțelepciune, mi-au acordat sprijin, îndrumare și ajutor pe parcursul întregii perioade de cercetare și elaborare a tezei de doctorat, contribuind la formarea mea de specialist, ca inginer, în cunoașterea adevărului științific. Totodată țin să mulțumesc doamnei profesor Grănescu pentru faptul că a fost mereu alături de mine în clipele mai puțin fericite, de blocaj și m-a înțeles și susținut.

Mulțumesc conducerii Universității „Ovidius” din Constanța, domnilor profesori din cadrul comisiei de îndrumare, domnul decan prof.dr.ing. Florea Mihai, prof.dr.ing Dan Hâncu și prof.dr.ing. Gabriela Stanciu, care mi-au fost de un real sprijin prin sfaturile bune și tot sprijinul oferit pe parcursul studiilor de doctorat. Doresc să mulțumesc tuturor celor care au contribuit la realizarea stagiului de cercetare la Institutului Tehnic Superior din Lisabona, Portugalia și cadrelor didactice din facultate pentru toată dărnicia și cunoștințele pe care mi le-au împărtășit de-a lungul anilor studiilor universitare și vă promit a duce mai departe frumusețea învățăturilor transmise. Mă rog Bunului Dumnezeu să vă dăruiască multă sănătate și multă putere pentru a duce mai departe multe generații de ingineri de acum înainte, împărtășindu-le și lor din frumusețea cunoștințelor dumneavoastră.

Mulțumiri speciale colectivului de profesori din cadrul Institutului Superior Tehnic din Lisabona, în special profesorului dr. ing. Fernando Branco și conferențiar dr. ing. João Gomes Ferreira ce și-au arătat mereu disponibilitatea de a mă ajuta cu o mare competență profesională și devotament și au făcut posibilă participarea la anumite evenimente și cursuri de specializare cu un impact enorm asupra perfecționării și carierei mele.

De asemenea sprijinul primit de la colegii doctoranzi din cadrul Institutului Tehnic Superior din Lisabona, și mai ales al colegei mele de laborator ce mi-a devenit prietenă Bruna Amarilis Silva, a fost fără îndoială indispensabil în concretizarea acestei lucrări.

Aș dori să mulțumesc în mod special unei persoane extraordinare pe care o apreciez și stimez enorm pentru tot ceea ce reprezintă, pentru sufletul dânsei și pentru sprijinul moral și nu numai pe care mi l-a oferit necondiționat ori de câte ori am avut nevoie. Muito obrigada por tudo Enid!

Mulțumesc domnișoarei arhitect Katherine Both, domnului Dan Costache și doamnei dr.ing Constanța Herea, pentru ospitalitatea și sprijinul acordat.

Mulțumiri familiei mele pentru tot sprijinul acordat și pentru înțelegere în toți acești ani; nu în ultimul rând aș dori să-i mulțumesc pentru că m-a suportat în toată această perioadă și m-a sprijinit mereu și nu m-a lăsat să renunț lui Dan: Mulțumesc Dan!

Cuprins

Capitolul 1	Introducere.....	1
1.1.	Contextul actual al conservării și restaurării structurilor de patrimoniu la nivel internațional și național	1
1.2.	Motivația lucrării de cercetare științifică.....	1
1.3.	Obiectivele lucrării de cercetare științifică.....	1
1.4.	Conținutul lucrării de cercetare științifică.....	2
Capitolul 2	Studii și cercetări experimentale privind structurile din piatră și materialele componente	4
2.1.	Identificarea materialelor specifice structurilor din piatră naturală.....	4
2.1.1.	<i>Piatra naturală.....</i>	4
2.1.2.	<i>Lianți pentru zidăria din piatră naturală.....</i>	4
2.1.3.	<i>Clasificarea structurilor de patrimoniu din piatră naturală.....</i>	4
2.2.	Degradările materialelor specifice structurilor din zidărie de piatră.....	4
2.3.	naturală.....	4
2.3.1.	<i>Factori declanșatori ai patologiilor</i>	5
2.3.2.	<i>Investigarea degradărilor materialelor componente</i>	6
2.3.3.	<i>Clasificarea degradărilor întâlnite la construcțiile din piatră naturală.....</i>	6
2.4.	Importanța cunoașterii parametrilor de comportare în acțiunea de conservare și restaurare a materialelor specifice.....	7
2.5.	Studiul analitic al structurilor din piatră naturală.....	7
2.6.	Pregătirea structurilor din piatră.....	8
2.7.	Măsuri de conservare și restaurare nestructurale.....	9
2.7.1.	<i>Măsuri de eliminare a surselor de umezire</i>	9
2.7.2.	<i>Măsuri de conservare a pietrei expuse în aer liber.....</i>	10
2.7.3.	<i>Măsuri de desalinizare</i>	10
2.7.4.	<i>Măsuri de combatere a agenților biologici.....</i>	11
2.7.5.	<i>Măsuri de restaurare a mortarelor.....</i>	11
2.7.6.	<i>Măsuri de intervenție cu agenți consolidanți – tratamente de consolidare.....</i>	12
2.7.7.	<i>Măsuri de intervenție cu agenți impermeabilizatori – tratamente de impermeabilizare</i>	13
2.8.	Măsuri de conservare și restaurare structurale.....	14
2.8.1.	<i>Măsuri pentru realizarea conlucrării structurii constructive</i>	14
2.8.2.	<i>Măsuri pentru eliminarea efectelor împingerilor laterale</i>	15
2.8.3.	<i>Măsuri pentru consolidareafundațiilor din piatră.....</i>	16
2.8.4.	<i>Măsuri pentru realizarea traseului forțelor gravitaționale / seismice</i>	17
2.8.5.	<i>Măsuri pentru sporirea redundanței.....</i>	17
2.8.6.	<i>Măsuri pentru eliminarea / limitarea efectelor de răsucire.....</i>	18
2.8.7.	<i>Măsuri de înlocuire a blocurilor de piatră puternic deteriorate.....</i>	18
Capitolul 3	Studii și cercetări experimentale privind conservarea și restaurarea structurilor din piatră naturală	19
3.1.	Considerații inițiale.....	19
3.2.	Stadiul actual al cunoașterii.....	20
3.3.	Metodologia de studiu – tehnici și metode de testare aplicate.....	21

3.3.1.	Caracterizarea fizică a varietăților de piatră.....	21
3.3.2.	Caracterizarea mecanică a varietăților de piatră	22
3.3.3.	Caracterizarea colorimetrică a varietăților de piatră	22
3.4.	Prezentarea planului de lucru.....	23
3.4.1.	Evaluarea acțiunii tratamentelor – criterii de analiză	24
3.4.2.	Evaluarea eficacității inițiale a tratamentelor de impermeabilizare	25
3.4.3.	Evaluarea nocivității tratamentului de impermeabilizare aplicat.....	25
3.4.4.	Evaluarea eficacității inițiale a tratamentului de consolidare.....	26
3.4.5.	Evaluarea nocivității tratamentului de consolidare aplicat.....	26
3.4.6.	Durabilitatea tratamentului de consolidare	27
3.5.	Descrierea și caracterizarea materialelor investigate.....	27
3.5.1.	Considerații inițiale.....	27
3.5.2.	Caracterizarea tipurilor de piatră studiate	28
3.5.3.	Caracterizarea produselor folosite la tratarea pietrelor	34
3.6.	Tratamente de impermeabilizare.....	35
3.6.1.	Considerații inițiale.....	35
3.6.2.	Evaluarea inițială a eficacității tratamentului.....	35
3.6.3.	Evaluarea nocivității tratamentului aplicat.....	36
3.6.4.	Concluzii	36
3.7.	Tratamente de consolidare.....	37
3.7.1.	Considerații inițiale.....	37
3.7.2.	Evaluarea eficacității inițiale a tratamentului.....	39
3.7.3.	Evaluarea nocivității tratamentului aplicat.....	40
3.8.	Considerații finale și noi direcții de cercetare experimentală.....	41
3.8.1.	Considerații finale.....	41
3.8.2.	Propuneri de noi direcții de cercetare experimentală	42
Capitolul 4	Studii și cercetări experimentale privind conservarea și restaurarea structurilor de patrimoniu – cetatea Histria.....	43
4.1.	Instrumente și metodologii de studiu a conservării.....	43
4.2.	Cetatea Histria – studiu de conservare.....	51
Capitolul 5	Concluzii.....	53
5.1.	Rezultatele cercetării. Îndeplinirea obiectivelor propuse ale tezei.....	53
5.2.	Contribuții personale în cadrul activității de cercetare.....	56
5.3.	Direcții de cercetare viitoare.....	58
Bibliografie selectivă.....		60

Teza de doctorat cuprinde: 354 – pagini și o listă cu 223 titluri bibliografice. Rezumatul lucrării de doctorat păstrează structura acestora în ceea ce privește cuprinsul, numerotarea capitolelor, figurilor, tabelelor și a relațiilor de calcul, precum și lista titlurilor bibliografice.

Cuvinte cheie: conservare, patrimoniu, piatră naturală, tratamente de consolidare, tratamente de impermeabilizare.

Capitolul 1 Introducere

1.1. Contextul actual al conservării și restaurării structurilor de patrimoniu la nivel internațional și național

În cadrul prezentei tezei de doctorat am dorit să aprofundez domeniul cunoașterii comportării construcțiilor realizate integral din piatră sau la care o parte din componentele structurale sunt realizate din piatră, motivat de necesitatea adoptării unei atitudini coerente, a unor măsuri de intervenție compatibile materialului constitutiv, măsuri deosebit de importante pentru conservarea și protejarea patrimoniului construit existent. Construcțiile realizate din piatră naturală reprezintă o categorie aparte din punct de vedere al materialului folosit, dar în mod deosebit din punct de vedere al tehnologiei de realizare și a concepției structurale.

În cadrul acestui subcapitol am făcut referire la contextul actual național și internațional al conservării și restaurării structurilor de patrimoniu din piatră naturală, la preocupările existente în momentul de față și direcțiile spre care se îndreaptă cercetările specialiștilor și autorităților cu putere de decizie din acest domeniu atât la nivel internațional cât și național. Am trecut în revistă documentele legislative ce guvernează și stabilesc principiile de lucru în acest domeniu în momentul de față la nivel internațional și cum s-au implementat ele la nivel național.

1.2. Motivația lucrării de cercetare științifică

Interesul meu pentru acest domeniu al conservării și al construcțiilor de patrimoniu s-a dezvoltat încă de pe vremea studenției odată cu participarea, la îndemnul actualului meu conducător de doctorat doamna prof. dr. ing. Ana Maria Grănescu, într-un program internațional de practică în restaurarea monumentelor istorice efectuat la sfârșitul anului III de studiu pe șantierul de restaurare al Castelul Banffy din Bonțida, județul Cluj. Subiectul tezei este unul de actualitate motivat de faptul că în zona noastră există multe construcții monument istoric ce fac parte din clasa A și B pentru care este necesară luarea unor măsuri de conservare și restaurare în vederea păstrării valorii lor autentice pentru generațiile viitoare. Studiile și cercetările efectuate au contribuit la lărgirea bazei de cunoaștere și la crearea și fundamentarea unor soluții de intervenție, deosebit de importante pentru crearea unui cadru de normative și prescripții aferente reabilitării construcțiilor cu valoare de patrimoniu.

1.3. Obiectivele lucrării de cercetare științifică

Planul de cercetare întocmit în cadrul tezei de doctorat a avut drept obiective:

- [1] Identificarea modelelor structurale caracteristice construcțiilor realizate din piatră naturală.

- [2] Studiul factorilor care contribuie la degradarea pietrei naturale ca element de construcție și metode de cuantificare a acestora în aprecierea gradului de siguranță structurală și cercetarea și investigarea unor studii de caz.
- [3] Realizarea modelelor de calcul cuantificând rezultatele cercetărilor efectuate.
- [4] Contribuții privind stabilirea tehnicilor și metodelor de conservare și restaurare a construcțiilor din piatră naturală.

Având în vedere domeniul vast ales în cadrul proiectului de cercetare și a timpului limitat din cadrul cercetării doctorale, pe parcursul desfășurării cercetării teoretice și a documentării am întâmpinat dificultăți în ceea ce privește acoperirea întregului domeniu vizat și am hotărât împreună cu coordonatorii mei să tratez la nivel teoretic toate obiectivele propuse inițial, însă pentru partea experimentală să pun accent pe analiza materialelor specifice și a metodologiei de studiu, urmând ca în cadrul unor studii ulterioare, post-doctorale să pot aprofunda pe baza informațiilor acumulate acum și să conduc cercetarea mai mult către partea analizei structurale și a pregătirii modelelor de calcul. Pentru cercetarea experimentală este necesară lărgirea bazei de analiză către tipuri de piatră cu o porozitate mai ridicată și studierea eficacității tratamentelor de impermeabilizare și consolidare și asupra acestora, a durabilității acestor tratamente în timp, identificarea necesității repetării acestora la anumite intervale de timp dacă se va demonstra a fi necesară o astfel de soluție. Cercetarea experimentală trebuie condusă și către experimentarea soluțiilor pe anumite porțiuni din construcție în situ și extinsă la diferite metode de tratare pentru a fi descoperită cea mai eficientă, însă trebuie analizată și acțiunea mai multor tipuri de produse asupra acestor materiale.

În vederea celor menționate mai sus, am direcționat cercetarea experimentală către studiul materialelor specifice zidărilor din piatră naturală și a posibilelor tratamente de impermeabilizare și consolidare folosind un anumit produs pentru tratarea acestora și o anumită tehnologie de aplicare.

1.4. Conținutul lucrării de cercetare științifică

Teza de doctorat este structurată în cinci capitole.

Primul capitol – Introducere – prezintă importanța temei de cercetare în contextul actual al conservării și protejării clădirilor de patrimoniu, obiectivele propuse în cadrul planului de cercetare și modalitatea în care acestea vor fi atinse, precum și dificultățile întâmpinate pe parcursul activității de cercetare.

În capitolul doi – Studii și cercetări privind structurile din piatră și materialele componente – am realizat o clasificare a tipurilor de piatră utilizate în construcțiile de patrimoniu cu câteva caracteristici importante în analiza acestora, toate acestea fiind reunite și asigurând elementele de bază pentru realizarea unei baze de date inițiale pentru zona Dobrogei. În cadrul capitolului am realizat și o identificare și centralizare a tipurilor de zidării de piatră întâlnite la construcțiile monument istoric din țara noastră. Un subcapitol important îl constituie cel referitor la patologia structurilor din piatră în care am realizat identificarea și investigarea degradărilor, a factorilor ce produc aceste degradări a materialelor specifice, respectiv a zidăriei. Am centralizat rezultatele cercetărilor efectuate în teren într-o

bază de date, subliniind termenii folosiți în limbile de circulație internațională pentru a exprima și identifica corect tipurile de degradare în vederea existenței unui limbaj universal valabil. Pentru a evidenția corect termenii am ilustrat cu imagini ale degradărilor identificate în cadrul cercetărilor în situ efectuate la nivel internațional și cu imagini ale monumentelor istorice din România, cu precădere din zona Dobrogei. Apoi am subliniat încă odată importanța cunoașterii parametrilor de comportare și compatibilității materialelor în acțiunile de conservare și restaurare. Am realizat o trecere în revistă a măsurilor de intervenție structurale și nestructurale propuse la nivel național și internațional în momentul de față. Am subliniat importanța pregătirii structurilor de piatră pentru aceste intervenții, analizând diverse metode ce pot fi folosite. Conform documentelor studiate am identificat și descris măsurile de conservare și restaurare nestructurale: măsuri de eliminare a surselor de umezire, măsuri de conservare a pietrei expuse în aer liber, măsuri de desalinizare, măsuri de combatere a agenților biologici, măsuri de restaurare a mortarelor, măsuri de intervenție cu agenți consolidanți și măsuri de intervenție cu agenți impermeabilizatori. Un alt subcapitol identifică și descrie măsurile de conservare și restaurare structurale: măsuri pentru realizarea conlucrării structurii constructive, măsuri pentru realizarea legăturilor între pereți, măsuri pentru eliminarea efectelor împingerilor laterale, măsuri pentru realizarea traseului forțelor gravitaționale / seismice, măsuri pentru eliminarea / limitarea efectelor de răsucire și măsuri de înlocuire a blocurilor de piatră puternic deteriorate.

În capitolul trei – Studii și cercetări experimentale privind conservarea și restaurarea structurilor din piatră naturală – am urmărit realizarea unor studii și cercetări experimentale cu privire la posibilitatea aplicării tratamentelor de impermeabilizare și consolidare asupra unor materiale specifice construcțiilor de patrimoniu din România în vederea propunerii unor posibile soluții de intervenție de conservare și restaurare a acestora. Probele au fost prelevate din România și testate în cadrul laboratoarelor Facultății de Construcții din cadrul Universității Ovidius din Constanța și, în cea mai mare parte, în laboratoarele Institutului Tehnic Superior din cadrul Universității Tehnice din Lisabona. Capitolul începe prin prezentarea stadiului actual al cunoașterii la nivel internațional privind aplicarea tratamentelor de impermeabilizare și consolidare. În continuare este descrisă metodologia de studiu adoptată prin descrierea metodelor de testare folosite și prin prezentarea planului de lucru adoptat pentru cercetarea experimentală. Sunt caracterizate fizic, mecanic și colorimetric materialele utilizate: tipurile de piatră supuse studiului și produsele folosite la tratamentul pietrelor. Fiecare tip de tratament este descris pe larg în cadrul unui subcapitol ce are drept obiectiv principal:

- definirea unei metodologii de studiu a acestor tratamente ce sunt aplicate tipurilor de piatră analizate;
- cunoașterea efectului acțiunii produsului de impermeabilizare și consolidare aplicat în cadrul tratamentelor tipurilor de piatră dobrogene studiate;
- cunoașterea și analiza unor factori ce pot condiționa eficacitatea tratamentelor de impermeabilizare și consolidare.

Capitolul patru – Studii și cercetări experimentale privind conservarea și restaurarea structurilor de patrimoniu – Cetatea Histria – începe prin descrierea unor instrumente și metodologii de studiu a conservării, prin propuneri privind optimizarea metodologiei de inventariere a construcțiilor monument istoric cu structura sau elemente structurale din piatră și prin propunerea conținutului unei fișe analitice ce se fundamentează pe o cercetare interdisciplinară a monumentului istoric. În partea a doua a capitolului metodologiile propuse sunt exemplificate pe un studiu de caz – cetatea Histria, construcție de o importanță și valoare deosebită pentru țara noastră. Sunt prezentate concluziile studiului efectuat și sunt propuse variante de intervenție pentru conservarea structurii din piatră a acestui monument.

Capitolul cinci – Concluzii – prezintă rezultatele cercetării și măsoară îndeplinirea obiectivelor propuse ale tezei, punând accent pe contribuțiile tezei la dezvoltarea cunoașterii în domeniul conservării și restaurării structurilor din piatră. Un accent important este pus și pe valorificarea rezultatelor obținute și diseminarea acestora.

Capitolul 2 Studii și cercetări experimentale privind structurile din piatră și materialele componente

2.1. Identificarea materialelor specifice structurilor din piatră naturală

2.1.1. Piatra naturală

Piatra este un material natural, ca și lemnul, acesta fiind unul din aspectele determinante în studiul acesteia și al elementelor realizate din acest material. În cadrul acestui subcapitol am realizat o caracterizare a acestui material și o clasificare a acestuia funcție de natura mineralogică și criteriul genetic, subliniind acele tipuri de piatră utilizate cu precădere în structura de rezistență a construcțiilor de patrimoniu din țara noastră. Pentru zona de interes, zona Dobrogei, am identificat tipurile de piatră existente cu caracteristicile acesteia funcție de zona de proveniență.

2.1.2. Lianți pentru zidăria din piatră naturală

Un alt material important este mortarul din cadrul zidărilor de piatră. În cele ce urmează am realizat o caracterizare a mortarelor de zidărie folosite de-a lungul timpului la realizarea construcțiilor de la români până în zilele noastre: mortarele de argilă, mortarele de var și mortarele de ciment.

2.1.3. Clasificarea structurilor de patrimoniu din piatră naturală

Zidăriile din piatră naturală întâlnite la construcțiile existente realizate de-a lungul timpului pot fi: din piatră brută (zidării de piatră brută cu mortar; zidării din piatră brută poligonală; zidării din piatră brută inclusă în beton; zidărie uscată din piatră (fără mortar)), din piatră prelucrată (cioplită, moloane, poligonale, talie) – (zidării din piatră cioplită; zidării din moloane, moloane poligonale; zidării din pietre de talie) și zidării mixte (zidării din piatră cioplită și piatră de talie; zidării din piatră și cărămidă).

2.2. Degradările materialelor specifice structurilor din zidărie de piatră naturală

Deteriorarea pietrelor este un proces continuu și complex care continuă progresiv în timp ce acestea se găsesc în contact cu orice alt ambient. Acest proces este un proces ce variază funcție de fiecare rocă, de fiecare loc de amplasare și sunt suficiente mici diferențe în condițiile ambientale sau în proprietățile de material pentru a schimba mecanismele de deteriorare și viteza de degradare.

Fenomenele de deteriorare a construcțiilor din piatră naturală prin alterarea acestora acoperă diverse procese ce conduc la modificări ale aspectului acestora, dimensiunile sau compoziția chimică a acestora.

Susceptibilitatea de degradare și intensitatea de degradare a unui material rezultă din două mari categorii de cauze: factori intrinseci (ce țin de material) și factori extrinseci (ce țin de alți factori, amplasament, mentenanță, etc). Relația de legătură între cele două tipuri de factori (intrinseci și extrinseci) este foarte mare.

2.2.1. Factori declanșatori ai patologiilor

Relațiile dintre diverși agenți agresivi sunt complexe, încât deseori nu este posibilă stabilirea unui factor principal pentru degradarea materialelor. Am identificat două tipuri de factori ce pot declanșa sau amplifica degradarea structurilor din piatră:

1. Factori intrinseci :
 - Compoziție mineralogică
 - Textura și structura
 - Porozitatea
 - Permeabilitatea (gaze / apă)
 - Duritatea
 - Rezistența mecanică
2. Factori extrinseci :
 - Clima / microclima
 - Temperatura
 - Umiditatea relativă
 - Expunerea solară
 - Ploaia (cantitate, compoziție, pH)
 - Caracteristici ale atmosferei
 - Gaze (CO₂, SO₂, etc)
 - Particule solide
 - Construcția:
 - Orientarea acesteia
 - Vânt, ploaie, sol
 - Scurgeri
 - Uscat / umed
 - Finisajul suprafețelor (neted, rugos, sculptat, etc)
 - Săruri solubile
 - Aleatorii
 - Fizici
 - Vibrații (trafic, mașini, clopote, etc)
 - Chimici
 - Oxidare

- Dizolvare și recristalizare
- Hidroliza silicaților
- Biologici
- Micro- și macro- organisme

Schema de evaluare a stadiului de degradare și a luării deciziei de intervenție se poate reprezenta:

Materiale prezente	Istoricul construcției	Fenomene de alterare
Prelevarea probelor	Mediul înconjurător	
↓	↓	↓
Analize	Clima	Analize
	Microclima	Prelevare probe
Materiale noi de studiu	Agente agresivi	Analize
↓	↓	↓
Analiza și interpretarea rezultatelor		
	↓	
Evaluarea tratamentelor posibile		

2.2.2. Investigarea degradărilor materialelor componente

Prima mare fază care va precede proiectarea reabilitării unei structuri istorice din zidărie va fi inspecția și relevarea detaliată a degradărilor pietrelor din construcție. A doua mare etapă este cea a investigațiilor instrumentale, respectiv teste fizice, petrografice și biologice. În cadrul acestui subcapitol am trecut în revistă testele nedistructive și cele distructive ce se pot face pentru a determina starea de degradare a materialelor componente.

2.2.3. Clasificarea degradărilor întâlnite la construcțiile din piatră naturală

În studiile destinate cercetării în domeniul degradării și conservării pietrei naturale, comisia științifică internațională pentru studiul pietrelor din cadrul ICOMOS, a identificat probleme în ceea ce privește confuziile terminologice între cercetători și practicieni. Din această cauză a apărut necesitatea de a stabili un limbaj comun acceptat și astfel s-a realizat glosarul ilustrat privind degradările pietrei. Pornind de la acest document, în activitatea de identificare a degradărilor, am cercetat și centralizat degradările suferite de zidăriile din piatră naturală în zonele studiate.

Am identificat cinci posibile categorii de degradare existente la monumentele din zona Dobrogei, și anume: fisurări și deformări, desprinderi, pierderea de material, alterarea cromatică, sedimente și colonizarea biologică. În tabelul 2.5. am centralizat definițiile unor termeni des folosiți în cadrul descrierii patologiilor acestui material pentru o mai bună identificare, conform glosarului ICOMOS și DEX-ului românesc, încercând să subliniez diferența între termenii sinonimi

existenți. Toate tipurile de degradare sunt însoțite în cadrul tezei de imagini fotografice exemplificatoare.

2.3. *Importanța cunoașterii parametrilor de comportare în acțiunea de conservare și restaurare a materialelor specifice*

Studiile și analizele efectuate în această etapă de cercetare au contribuit la dezvoltarea bazei de cunoaștere privind analiza materialelor constitutive la structuri din piatră naturală, analiză care a vizat atât parametrii mecanici ai materialelor originale cât și modalitatea în care aceste proprietăți s-au modificat în timp datorită: factorilor atmosferici, fenomenelor de îngheț – dezgheț, fenomenelor reologice, factorilor fizici și chimici care au alterat aceste materiale.

Pentru abordarea oricărei din măsurile mai sus prezentate sunt necesare analize, investigații și calcule în vederea evaluării gradului de siguranță – risc – vulnerabilitate a acestor construcții în ansamblu sau a componentelor structurale proprii. Dar răspunsul unei structuri existente este diferit de răspunsul unei construcții noi a cărei modelare structurală și materială este stăpânită. La construcții existente se lucrează cu materialul constitutiv existent ale cărui proprietăți mecanice diminuate generează rezistențe caracteristice diminuate, la care conformarea structurală de ansamblu slăbită în decursul timpului de evenimente care au generat nu de puține ori deplasări – deformații remanente, posedă o capacitate portantă redusă, la care ne întâlnim cu tehnologii specifice tradiționale timpului.

La aceste aspecte se adaugă un factor important care nu în puține situații complică activitatea de restaurare structurală: neglijența umană în exploatarea construcției și necunoașterea umană în stabilirea lucrărilor de intervenție efectuate pe parcursul exploatării.

Abordarea lucrărilor de restaurare structurală este o abordare integrată care în mod obligatoriu trebuie să conducă la păstrarea substanței istorice a construcției monument, la respectarea tehnologiei de realizare (mă refer la îmbinări cu precădere), la inserarea unor materiale care să fie compatibile cu materialele constitutive. Aceste aspecte constituie încă o componentă a importanței cunoașterii parametrilor mecanici ai materialelor folosite.

Plecând de la elementele sus menționate, în vederea considerării unor măsuri de intervenție corespunzătoare, a consolidării și conservării construcțiilor realizate din piatră naturală este necesară identificarea tipului de piatră folosită, a mortarelor, a identificării elementelor vulnerabile. Astfel, efectuarea acestor observații, a unor analize și investigații au vizat:

- identificarea aproximativă rezultată în urma unei inspecții vizuale privind culoarea, textura, structura pietrelor, ce permite încadrarea într-o anumită categorie de roci;
- determinarea de precizie privind diverse caracteristici când sunt necesare prelevări de probe și analize de laborator ale acestora.

2.4. *Studiul analitic al structurilor din piatră naturală*

Scopul analizei analitice este de a reprezenta comportarea reală a structurii din zidărie de piatră în termeni matematici. Înainte de analiză trebuie găsit un model

care să corespundă, un model simplificat de calcul – deoarece majoritatea monumentelor istorice din piatră naturală se caracterizează prin complexitatea formei și materialelor. Trebuie făcute niște idealizări în modelul analitic, și anume :

- idealizarea geometriei: crearea unui model geometric a cărui reprezentare geometrică poate fi un element „shell”, un element solid sau un element tip „frame”. Decizia utilizării unui anumit tip de element se alege funcție de complexitatea problemei.

- idealizarea comportării materialului: idealizările de bază pentru comportarea unui material ca zidăria sunt comportare elastică (liniară), comportare inelastică (neliniară) și comportare plastică. Principala ipoteză la comportarea elastică este că materialul respectă legea lui Hooke – creșterea deformațiilor este direct proporțională cu creșterea tensiunilor. Metodele de analiză plastică se folosesc de obicei pentru a determina încărcarea ce conduce la cedarea elementului (colaps) – principală ipoteză este că aceste materiale au rezistență la întindere zero și rezistență la compresiune infinită. Metoda de analiză neliniară permite identificarea comportării zidăriei până la stadiul de colaps – însă o astfel de analiză trebuie să se bazeze pe testarea experimentală a materialelor componente pentru a corespunde unei comportări reale.

Studiul în cadrul acestui capitol continuă cu prezentarea ecuațiilor de calcul utilizate în literatura de specialitate pentru analiza zidărilor din piatră punându-se accent pe acele elemente și factori ce au influență asupra proprietăților materialului analizat și reliefând importanța determinării experimentale a acestora.

2.5. Pregătirea structurilor din piatră

Curățarea suprafețelor pietrei din construcții are drept scop eliminarea desenelor graffiti, a murdăriei și a diversilor paraziți. Această operațiune, care este una de întreținere, trebuie aplicată cu mult discernământ pentru a nu se produce daune monumentului.

Acțiunile de curățare întreprinse cu scopul de a elimina produsele de alterare și depozitele prezente pe suprafețele pietrei, pot:

- afecta viitoare acțiuni de conservare;
- fi responsabile de degradarea lor viitoare.

Cerințele necesar a fi respectate de această acțiune sunt:

- acțiunea de curățare trebuie să fie suficient de lentă pentru a permite controlul ei;
- lipsa produselor dăunătoare;
- acțiune reactivă minimă în relație cu piatra.

Metodele de curățare pot implica:

- metode mecanice, micro-abrazive, apa, paste chimice, laser;
- utilizarea de erbicide și biocide;
- eliminarea depozitelor calcaroase.

Acțiunea de curățare a suprafețelor nu beneficiază încă de atenția cuvenită. Metoda de curățare a suprafeței trebuie foarte bine gândită și aleasă astfel încât să nu prejudiciem structura deja degradată.

O problemă o reprezintă depozitele de material de pe suprafața pietrelor (ce trebuie îndepărtate deoarece prejudiciază materialul).

Aspecte ce trebuie considerate pentru a alege corect măsura de curățare:

- valoarea obiectului de curățat (monumente istorice, clădiri civile);
- natura și starea de conservare a substratului (e coeziv, starea în care este, este stabil sau nu, e rezistent sau nu);
- tipul de murdărie;
- riscul de efecte secundare nedorite;
- posibilitatea de a apela la utilizarea apei (apa este utilizată des ca mijloc de curățare însă adeseori are efecte nedorite asupra conservării pietrei).

Metode de curățare :

- apa pulverizată ușor și prin periere - pe zone mici (se pulverizează foarte fin și cu cantitate mică de apă, bine distribuită);
- paste și comprese: cu apă, produse chimice, argile;
- laser - aplicată la Mănăstirea Jeronimo; este mai autocontrolabil (când avem un suport bun și unul degradat cu o altă culoare), trebuie menționat ce intensitate trebuie să fie folosită, cum trebuie ajustată distanța pentru a garanta curățarea stratului de îndepărtat pe toată grosimea sa, este o soluție costisitoare – nu este o soluție economică, însă se caracterizează prin rapiditate și are un efect garantat;
- micro-abraziune (metodă ce crește rugozitatea suprafeței curățate și conduce la două consecințe: se va umezi mai repede și se va degrada mai repede deoarece crește permeabilitatea suprafeței la apă); se realizează prin sablare (jeturi de nisip împrăștiat cu aer comprimat) uscată sau umedă; este importantă dimensiunea particulelor, presiunea aerului, distanța față de obiect; formarea și dexteritatea operatorului crește rugozitatea suprafeței și atunci crește și reținerea de apă și posibilitatea de a fi afectat de factori degradatori.

2.6. Măsurile de conservare și restaurare nestructurale

În cadrul acestui subcapitol voi prezenta o parte din măsurile de intervenție nestructurale asupra construcțiilor existente, măsuri ce s-au luat și încă se adoptă în cadrul proiectelor de restaurare.

2.6.1. Măsurile de eliminare a surselor de umezire

Atunci când se observă alterarea pietrei de construcție din cauza umezelii, prima măsură care se impune este depistarea sursei de apă. Dacă este vorba de infiltrații acestea vor fi eliminate. Mai pot fi depistate scurgeri datorate defectelor din conductele de apă curentă sau reziduală. Pentru acestea din urmă soluția este repararea rețelelor de apă. De asemenea, spațiile neîncălzite corespunzător și continuu pe timpul iernii și care au și o ventilație deficitară favorizează condensul, una din sursele importante de umiditate în elementele de construcție. Soluția va consta în eliminarea cauzelor.

Pentru reducerea cantității de apă din precipitații care afectează o structură istorică se impune refacerea sistemului de protecție antipluvială (învelitori, burlane, trotuare, etc.). În cazul umidității din sol rezolvările sunt mult mai complexe. Lucrarea lui F. Frössel [26] face analiza multor astfel de situații, indicând și măsurile de protecție necesare. Dintre acestea menționăm: izolările

orizontale în diverse variante (tăiere și introducere de ecrane impermeabile, forări și injectări) și cele verticale (pe bază de bitum ori alte substanțe hidrofuge ori impermeabile). Totuși, izolările orizontale ale zidărilor din piatră sunt dificil de realizat și, în plus, la structurile istorice există severe restricționări ale intervențiilor. Izolările verticale vor fi proiectate și executate în corelație cu situația de pe teren.

Totodată, pentru îndepărtarea umidității ce urcă prin capilaritate în zidăriile din piatră s-au folosit până acum metode precum subzidirea și izolarea fundațiilor, proiectarea unor goluri de aerisire și electrodrainarea.

2.6.2. Măsuri de conservare a pietrei expuse în aer liber

Cercetările desfășurate în vederea găsirii unor procedee de conservare a pietrei degradate, expuse în aer liber, nu au condus, până în prezent, la elaborarea unor soluții sigure. Procedeele încercate de silicatizare a suprafeței pietrei nu s-a dovedit eficiente. Împiedicând schimbul de umiditate între material și exterior, silicatizarea a provocat, de fapt, o degradare mai grabnică a pietrei. Ca urmare, numeroase soluții elaborate în vederea conservării pietrei au o aplicabilitate redusă, limitată la elementele de piatră ce urmează a fi păstrate în muzee, în spații special climatizate, precum și la componentele edificiilor de piatră, reduse ca dimensiuni, care pot fi desprinse de la locul lor, tratate în condiții de laborator, și apoi repuse în operă (statui, basoreliefuluri, elemente de modernatură).

Dacă pentru piesele ce urmează a fi păstrate în muzee, în condiții speciale de climatizare, se pot executa pelicule de protecție cu ceară, rășină sau siliconi, în cazul tratării unor piese ce urmează să rămână sau să fie repuse în aer liber, la locul lor, este necesar ca măsurile de consolidare să nu împiedice schimbul de vapori dintre interior și exterior și, totodată, să conducă la refacerea crustei protectoare.



Fig. 2.107. Conservarea unui zid de piatră – castelul São George din Lisabona (Portugalia) - Protejarea structurilor din piatră în muzee

2.6.3. Măsuri de desalinizare

Un procedeu pentru desalinizarea suprafețelor de zidărie din piatră, recomandat de specialiștii americani în restaurarea monumentelor istorice, este cel al “cataplasmei”. Deși termenul este din domeniul medical, cataplasmele s-au aplicat și la construcțiile istorice pentru: a. Curățarea și degresarea suprafețelor pe care se vor realiza fresce (materialul de bază al pastei fiind argilă); b. Ștergerea diferitelor murdării și substanțe contaminante, insolubile în apă, de pe pereții din zidărie de piatră și statui (în această situație se adaugă pastei și componente chimice).

Pentru îndepărtarea sărurilor antrenate de apă, care se recrystalizează la suprafața pietrei, având un efect exfoliant, se folosește și spălarea abundentă cu apă curgătoare atunci când piatra nu este friabilă. Piese de piatră cu dimensiuni mai reduse, aflate într-o stare precară, se îmbracă cu hârtie de filtru absorbantă, care se defibreză prin umezire. Umezeala pătrunde în material, iar când se evaporă antrenează cu sine sărurile care rămân îmbibate în hârtie.

2.6.4. Măsuri de combatere a agentilor biologici

Plantele sau microorganismele care cresc pe suprafața pietrelor se pot elimina prin aplicare de substanțe erbicide sau fungicide - biocide. Componentii biocizi cei mai folosiți sunt: clorurile organice, sărurile de cupru, aminele, boratii, compușii cuaternari de amoniu, sărurile de zinc. Aceștia se aplică ca soluții concentrate pe suprafețele uscate.

În anumite situații ale unei colonii existente pe o suprafață de piatră trebuie consultat și biologul pentru a prescrie tratamentul corect de tratare a suprafeței respective. Pentru fiecare tip de problemă trebuie găsită soluția optimă de tratare, produsul optim ce trebuie folosit pentru a avea eficacitatea dorită.

Trebuie făcute multe teste pe diferite zone pentru a vedea cum funcționează biocizii și pentru a determina care este cantitatea corectă de produs ce trebuie aplicată. Ceea ce contează cel mai puțin – și câteodată este și o soluție economică – este că această testare să se facă în timp, să se facă testul și să se aștepte o anumită perioadă de timp pentru a vedea cum funcționează produsul pe suprafață – și să se aplice treptat în mai multe faze. Este de preferat (și totodată și eficient și economic) să aplicăm de 3 ori 1% decât o dată 3%.

Metode de selecționare a biocizilor:

- experimental;
- panouri testate în situ.

2.6.5. Măsuri de restaurare a mortarelor

În practica reabilitărilor unele cerințe au devenit deja axiome. Astfel, la mortarele de zidărie se pot enumera următoarele “restricții” de bază: a. Mortarul de restaurare să fie compatibil cu cel din adâncimea rostului; b. Mortarul de restaurare să nu fie mai rezistent sau mai etanș decât cel original și să aibă un modul redus de elasticitate, să nu fie mai dens decât blocurile de zidărie legate; c. Mortarul de restaurare să fie ușor de înlocuit, fără a distruge suprafața zidului.

Desigur, se mai adăugă cerințele “secundare”, precum: a. Mortarul de restaurare să aibă pe cât posibil aceeași compoziție cu cel inițial din structura istorică; b. Mortarul de restaurare să fie durabil, cel puțin pe o perioadă de timp predictibilă și acceptabilă; c. Mortarul de restaurare să-și îndeplinească atât rolul de componentă a matricei mecanice de rezistență și rigiditate la diverse acțiuni, cât și rolul de protecție împotriva infiltrațiilor de umiditate sau al pierderilor de căldură ale incintei din zidărie; d. Mortarul de restaurare să contribuie la menținerea aspectului de autenticitate al monumentului istoric care se supune reabilitării.

2.6.6. Măsuri de intervenție cu agenți consolidanți – tratamente de consolidare

Consolidarea este un tratament ce acționează în profunzime. Materialul consolidat trebuie să aibă o mai mare rezistență mecanică și să fie rezistent la agresiunile mediului înconjurător.

Cerințele ce trebuie respectate de către produsele consolidante au fost inițial enunțate de către Heaton. Heaton, în 1921, a definit caracteristicile produsului consolidant „ideal” ce poate fi folosit în tratarea pietrei, care rămân în general valabile și astăzi. După acest autor, produsele consolidante:

- trebuie să pătrundă cu ușurință și în profunzime și să rămână în piatră pe durata tratamentului; pare redundant dar nu e, consolidanții de bază organică polimerici trebuie aplicați cu solvenți, într-o cantitate mai mare sau mai mică, solvenți ce sunt substanțe volatile iar când se aplică se pot întâmpla două lucruri: a) locul în care este aplicat produsul se umezește mai mult; b) substanțele volatile în timp vor trebui să iasă, și odată cu ele aduc spre suprafața superficială și substanța reactivă ce trebuia să rămână în profunzimea pietrei;
- nu ar trebui să se concentreze la suprafață și să determine formarea unei cruste dure, ce trebuie să întărească zonele alterate suficient pentru a le face rezistente la degradare;
- trebuie să nu permită intrarea apei, dar în același timp să permită ieșirea vaporilor de apă;
- nu trebuie să modifice culoarea pietrei sau să schimbe în vreun fel aspectul acesteia;
- trebuie să se dilate și să se contracte similar cu piatra astfel încât să nu apară exfolierea acesteia;
- nu trebuie să fie corozive sau nocive când sunt manipulate;
- trebuie să conducă la soluții economice;
- trebuie să aibă o acțiune permanentă.

Agenți consolidanți pot fi:

- compuși anorganici;
- compuși organici;
- compuși bazați pe Si.

Evaluarea performanței produsului se realizează prin determinarea eficacității inițiale a tratamentului, a gradului de nocivitate al tratamentului asupra materialului și a durabilității tratamentului. Dependența de acțiunea consolidantă depinde de caracteristicile suportului, tipul de produs, tehnologia de aplicare, cantitatea de produs.

Produsul de consolidare „ideal” trebuie să îndeplinească trei condiții:

- să consolideze piatra în zona alterată, pe grosimea acesteia;
- rezistența obținută în această zonă să fie comparabilă cu rezistența pietrei;
- creșterea de rezistență obținută pe grosimea zonei alterate trebuie să fie variabilă pe lungimea acestei zone funcție de pierderea de coeziune

a pietrei în zona respectivă (produsul să pătrundă mai în profunzime în unele locuri să stea mai la suprafață în altele, astfel încât pe total media grosimii de pătrundere să fie de 1,5 cm).

Alegerea tratamentului depinde de:

- eficacitatea inițială;
- potențiala nocivitate;
- durabilitate.

În literatura de specialitate s-au definit patru grupe principale de consolidanți: materiale anorganice; alcoxilani; polimeri organici sintetici și ceruri. Aceste grupe principale de consolidanți sunt dezvoltate în cadrul lucrării prezentându-se avantajele și dezavantajele utilizării fiecărui tip de produs.

2.6.7. Măsurile de intervenție cu agenți impermeabilizatori – tratamente de impermeabilizare

Produsul hidrofulug are rolul de a reduce penetrarea apei fără colmatarea porilor (obstrucționarea porilor). Conform BS 6477:1984 “British standard specification for water repellents for masonry surfaces”, Institutul de standardizare britanic (BSI) Londra menționează că aceste tratamente de impermeabilizare au:

- o influență redusă asupra aspectului vizual al obiectelor tratate;
- stabilitate la agenți chimici;
- stabilitate la radiații ultraviolete;
- permeabilitate redusă la apă în stare lichidă;
- permeabilitate la vapori de apă;
- reversibilitate, sau cel puțin ușurință în îndepărtare a agentului hidrofulug atunci când acțiunea sa s-a încheiat; când ne referim la tratamentul unui material principiul reversibilității aplicat monumentelor istorice conform Cartei de la Viena se referă în special la compatibilitatea materialelor folosite.
- lipsa produselor dăunătoare;
- ușurință în aplicare.

Evaluarea performanței produsului se realizează prin evaluarea eficacității inițiale, potențiala nocivitatea tratamentului și durabilitatea acestuia. Dependența de acțiunea hidrofulugă este dată de caracteristicile suportului, tipul de produs, tehnologia de aplicare, cantitatea de produs, posibilitatea de a inhiba acțiunea hidrofulugă în prezența sărurilor solubile.

Agenții hidrofulugi pot fi:

- Silani;
- Siloxani;
- Polisiloxani.

Tratamentul de impermeabilizare poate fi aplicat prin :

- Pensulare;
- Pulverizare;
- Rulare.

Alegerea tratamentului de impermeabilizare are la bază trei criterii în opinia prof. Pinto:

- eficacitatea inițială;
- potențiala nocivitate – analizate efectele secundare;
- durabilitate – produse care acționează o perioadă scurtă de timp, câțiva ani.

Obiectivul unui produs hidrofug nu este acela de a împiedica absorbția de apă total, ci doar de a o împiedica să pătrundă în profunzime și de a o reduce.

2.7. Măsuri de conservare și restaurare structurale

În cadrul acestui capitol voi prezenta câteva soluții de consolidare recomandate în codul național de proiectare seismică indicativ P100-3/2008 a fi adoptate funcție de tipul de deficiență structurală.

2.7.1. Măsuri pentru realizarea conlucrării structurii constructive

Această categorie de lucrări este necesară în cazurile în care legăturile între pereți, la colțuri, ramificații și intersecții lipsesc sau sunt insuficiente pentru a asigura transmiterea forței de lunecare verticală corespunzătoare comportării ca secțiune compusă (cu forma în plan I,L,T). Realizarea/refacerea acestor legături este una dintre condițiile necesare pentru realizarea "cutiei" spațiale.

Pentru realizarea/refacerea/consolidarea legăturilor se utilizează de regulă următoarele procedee:

- inserția de bare de oțel rotund în găuri forate înclinat în zidărie și umplute ulterior cu mortar;
- inserția de bare de oțel rotund/platbande în rosturile de așezare ale elementelor
- inserția de stâlpișori din beton armat la intersecția pereților;
- introducerea de centuri / tiranți la nivelul planșelor;
- post-tensionare.

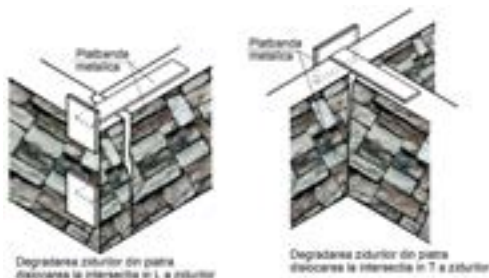


Fig. 2.117. Detaliu consolidare ziduri de piatră cu platbenzi

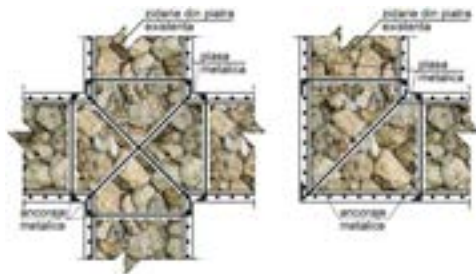


Fig. 2.118. Consolidarea intersecțiilor de pereți

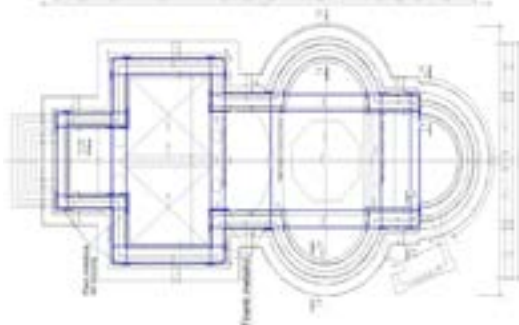


Fig. 2.119. Distribuția în plan a tiranților metalici pentru o construcție din piatră naturală

2.7.2. Măsuri pentru eliminarea efectelor împingerilor laterale

Eliminarea împingerilor laterale se realizează, de regulă prin introducerea:

- tiranților din oțel, ancorați corespunzător în masivul de zidărie; se recomandă ca acești tiranți să aibă o pretensionare ușoară;
- centurilor din beton armat.

Împingerile laterale date de șarpante se pot elimina prin:

- adăugarea unor elemente suplimentare, recomandabil la nivelul tălpilor inferioare, destinate să preia împingerile;
- refacerea șarpantei după o schemă statică fără împingeri.

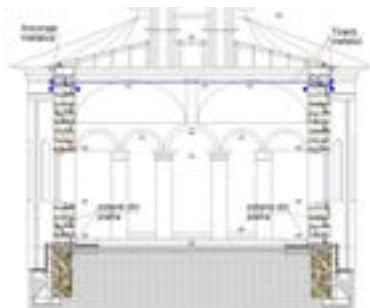


Fig. 2.120. Măsuri pentru eliminarea efectelor împingerilor laterale

2.7.3. Măsuri pentru consolidareafundațiilor din piatră

Procedeele de consolidare a fundațiilor sunt:

- injectarea mortarului în fundațiile de zidărie din piatră fără mortar;
- armarea în rosturi a fundațiilor din zidărie nearmată;
- subzidirea fundațiilor existente pentru atingerea adâncimii de îngheț sau a straturilor cu rezistență suficientă;
- lărgirea fundațiilor prin placare cu beton armat turnat sau torcretat.

Eficiența acestui tip de intervenție este condiționată de :

- asigurarea conlucrării cu structura existentă pentru toate tipurile de încărcări;
- integrarea fundațiilor elementelor noi în ansamblul fundațiilor clădirii, luând măsuri pentru evitarea tasărilor diferențiate

Fig. 2.122. Măsuri de consolidare a fundațiilor din piatră naturală la monumentele istorice – exemplu de caz biserica de la Târgșor.



Fig. 2.126. a. Plan amplasare ziduri istorice existente – b. Plan trasare piloți

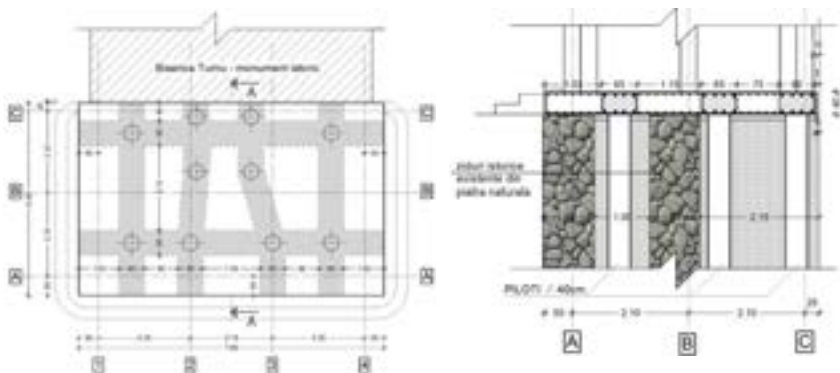


Fig. 2.127. Plan amplasare grinzi de legătură

Sețiunea a-a

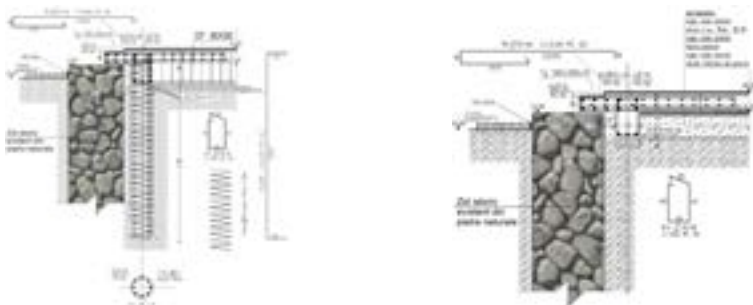


Fig. 2.128. Exemplu intervenție fundații de piatră

2.7.4. Măsuri pentru realizarea traseului forțelor gravitaționale / seismice

Pentru corectarea acestei deficiențe se poate proceda după cum urmează:

- Se adaugă pereți structurali, pentru completarea discontinuităților din sistemul inițial de scurgere a eforturilor sau pentru refacerea sistemului structural inițial dacă discontinuitatea se datorează unei intervenții ulterioare.
- Se adaugă elemente verticale noi, eventual numai stâlpi, pentru preluarea directă a forțelor verticale în cazul planșeelor cu rezemări de ordin superior.
- Se completează sistemul de centuri.

În cazurile în care măsurile preconizate nu pot fi realizate din diferite considerente trebuie examinate traseele "deviate" pe care se scurg forțele și identificate punctele slabe susceptibile de avariere prematură pentru a se stabili soluțiile necesare de consolidare locală.

2.7.5. Măsuri pentru sporirea redundanței

Aceste măsuri sunt necesare când structura existentă nu îndeplinește cerințele de redundanță structurală precizate în P100-1/2006, 4.4.1.2.

Sporirea redundanței se realizează prin:

- adăugarea unor elemente structurale noi (pereți sau stâlpi din zidărie) în zonele în care ruperea unui singur element poate provoca pierderea stabilității întregii clădiri (de exemplu, în cazul spaleților/stâlpilor cu dimensiuni mici de la colțurile clădirilor);
- înzestrarea altor elemente structurale cu ductilitatea sporită prin lucrări adecvate de consolidare.

Elementele adăugate trebuie să aibă rezistența și rigiditatea de același ordin de mărime cu cea a elementelor cu care vor conlucra la preluarea forțelor orizontale. Soluția de consolidare a elementelor a căror rupere pune în pericol stabilitatea clădirii poate fi acceptată numai dacă prin procedeul folosit se asigură și o ductilitate suficientă.

2.7.6. Măsuri pentru eliminarea / limitarea efectelor de răsucire

Pentru remedierea acestei deficiențe se adaugă pereți structurali cu rigiditate suficientă pentru a se reduce torsiunea de ansamblu. Pentru sporirea eficienței acestei intervenții se recomandă:

- introducerea pereților noi în poziții cât mai depărtate de centrul de rigiditate al planșei;
- examinarea posibilităților de creștere a rigidității pereților de contur prin închiderea sau bordarea golurilor; soluția este recomandată în special în cazul în care golurile au fost create prin intervenții ulterioare.

În cazurile în care măsurile preconizate nu pot fi realizate din diferite considerente se va examina, printr-o metodă de calcul spațial, care ia în considerare toate neregularităților structurale, starea de eforturi din structură și se vor stabili soluțiile necesare de consolidare locală a elementelor ale căror solicitări totale depășesc capacitățile de rezistență respective cu mai mult de 10÷15%. Consolidarea locală are în vedere sporirea rezistenței și a ductilității elementelor respective.

2.7.7. Măsuri de înlocuire a blocurilor de piatră puternic deteriorate

Se întâmplă uneori ca unele blocuri de piatră de zidărie să fie atât de degradate, încât să nu mai poată fi reabilitate, periclitând și siguranța elementului structural din care fac parte. În acest caz, deși avem de a face cu un monument istoric, vom fi nevoiți să înlocuim blocurile respective. Desigur, se vor respecta în mod obligatoriu o serie de restricții, precum: a. Pietrele de substituție vor fi cât mai apropiate de original din punctele de vedere: geologic, colorit, textură, porizitate și duritate; b. Prelucrarea blocurilor de piatră va reproduce cât mai exact posibil originalele; c. Mortarul de legătură va fi compatibil cu cel existent în structura veche; d. Tehnica de rezidire locală va fi, pe cât posibil, o reproducere a celei originale, astfel ca elementul de construcție reabilitat să respecte aspectul inițial istoric; e. Măsurile de tehnica securității muncii vor fi respectate riguros, pentru a evita orice fel de accidente pe durata intervenției.

Capitolul 3 Studii și cercetări experimentale privind conservarea și restaurarea structurilor din piatră naturală

3.1. Considerații inițiale

În cadrul capitolului am urmărit realizarea unor studii și cercetări experimentale cu privire la posibilitatea aplicării tratamentelor de impermeabilizare și consolidare asupra unor materiale specifice construcțiilor de patrimoniu din România, în vederea propunerii unor posibile soluții de intervenție de conservare și restaurare a acestora.

Probele au fost prelevate din România și o parte din ele testate în cadrul laboratoarelor de încercări mecanice nedistructive și distructive ale Facultății de Construcții din Universitatea “Ovidius” din Constanța sub îndrumarea coordonatorului științific de doctorat prof.dr.ing. Ana Maria Grănescu, iar cea mai mare parte au fost realizate în cadrul laboratoarelor Institutului Superior Tehnic din cadrul Universității Tehnice din Lisabona, Portugalia sub îndrumarea coordonatoarei științifice ș.l.dr.ing. Ana Paula Pinto și cu ajutorul ing. Bruna Silva, a colectivului de cadre didactice din ambele universități și a personalului tehnic.

Într-o primă etapă am efectuat caracterizarea materialelor prelevate din punct de vedere al caracteristicilor fizice și mecanice (în situ și în laborator). Apoi, după această caracterizare, funcție de rezultatele obținute în urma testelor am stabilit un plan de lucru pentru cercetarea experimentală. Am ținut cont de faptul că probele ce s-au putut obține din materialul prelevat sunt reduse ca număr și de aceea am căutat să optimizez procesul experimental și să realizez pe aceleași probe cât mai multe teste, însă acest lucru a presupus extinderea pe o perioadă mai mare de timp.

La nivel internațional și național există definite norme, proceduri, standarde și recomandări pentru caracterizarea materialelor (în special piatra, mortarul și cărămida), însă toate acestea, din punct de vedere al problemei conservării materialului, nu sunt compatibile cu cele utilizate în mod curent pentru caracterizarea unui material nou folosit. Există neconcordanțe și din punct de vedere al dimensiunilor și numărului minim de epruvete ce se pot folosi într-un studiu privind conservarea unui material, deoarece în acest domeniu, în această arie vastă, numărul și dimensiunile sunt impuse de specificitatea studiului efectuat și de cantitatea de material existent.

Toate cele mai sus amintite și studiile pe această temă din literatură de specialitate justifică adaptarea acestor norme, proceduri și recomandări la fiecare situație în parte față de forma lor originală, chiar în unele cazuri acestea ajung să reprezinte doar puncte de plecare în definirea tehnicilor și metodelor utilizate pentru cercetare. În ceea ce privește metodologia de studiu a acțiunii produșilor necesari pentru acțiuni de conservare a materialelor situația este asemănătoare. Cu toate că există la nivel internațional reglementări și recomandări privind metodologia de lucru și amintesc aici pe cele de la RILEM [184, 185] și NORMAL [168] - specifice construcțiilor de patrimoniu, analiza diverselor lucrări publicate din literatură de specialitate permite verificarea frecvență a mai multor altor proceduri de lucru. Pentru a putea compara rezultatele cu cele ale diferitelor teste din lucrări de specialitate trebuie verificat ca procedura de lucru folosită să fi fost aceeași în ambele studii și chiar și în această situație compararea devine dificilă

datorită diversității procedurilor de aplicare a produșilor de conservare adoptați și a stadiului actual al cunoașterii insuficient dezvoltat care nu permite încă normalizarea metodologiei de studiu a tratamentelor de conservare astfel încât să satisfacă toate necesitățile de investigare și de practică a conservării. Toate cele menționate anterior confirmă ideea că această arie de studiu are multe elemente ce trebuie încă investigate și reglementate.

În acest context, s-a considerat că nu este suficient să se facă referire la toate recomandările disponibile existente și s-a optat pentru a se prezenta descrierea tuturor metodelor de încercare și a recomandărilor urmate în cadrul acestui studiu experimental.

3.2. Stadiul actual al cunoașterii

Un număr foarte mare de clădiri monument istoric, clădiri de patrimoniu, sunt realizate din piatră naturală, atât la nivel național cât și internațional. Dacă se dorește conservarea, reducerea deteriorării sau prevenirea pierderii acestora trebuie în primul rând să poată fi caracterizate tipurile de piatră (materialul existent), să poată fi identificată degradarea suferită de acestea în timp, să poată fi măsurată răspândirea ei în stadiul actual, severitatea acesteia și identificat riscul de pierdere al acestuia. Apoi trebuie să putem înțelege și identifica cauzele și mecanismele de degradare pentru ca apoi să putem înțelege comportarea tipului de piatră în contextul mediului înconjurător în care există.

În acest proces de caracterizare a materialului este important a se specifica că deși unele pietre pot avea compoziții chimice similare, comportarea lor poate să difere foarte mult. Un prim criteriu de identificare a tipului de piatră se poate baza pe procentul și raportul relativ dintre pori și goluri de fisuri [216]. Un al doilea criteriu de identificare a tipului de piatră se realizează funcție de gradul de absorbție a apei în piatră [68; 73]. Un al treilea criteriu de identificare este după rezistența materialului [131; 10]. Pot fi identificate și alte subdiviziuni ale celor trei funcție de compoziție, textură, omogenitate, dar sunt mai puțin importante din punct de vedere al performanței în general a materialului.

Atunci când blocurile de piatră sunt degradate într-un stadiu nu foarte avansat, una din soluțiile ce se pot adopta este consolidarea suprafeței cu ajutorul unor produși. Rolul acestei acțiuni este acela de a încerca a readuce piatră cât mai aproape de rezistență inițială. Tratatamentul va trebui să fie puțin costisitor, ușor de aplicat și de a fi folosit în siguranță. Va trebui să rămână eficient în timp (decenii) de la un ciclu de întreținere la altul. Blocul de piatră tratat va trebui să aibă aceeași comportare la interacțiunea cu apă, dilatare termică și modul de elasticitate ca și piatra netratată pentru a evita apariția eforturilor interne și a asigura compatibilitatea. Cu alte cuvinte, intervenția trebuie să fie invizibilă.

În ceea ce privește produșii de consolidare, aceștia trebuie să aibă următoarele proprietăți:

- abilitatea de a penetra în interiorul pietrei;
- vâscozitate scăzută și unghi de contact redus;
- proprietatea de a se întări atunci când ajunge în interior pentru a crește rezistența pietrei.

Aceste cerințe pot fi obținute prin următoarele acțiuni:

- Aplicarea unei substanțe lichide la o temperatură ridicată ce se întărește pe măsură ce se răcește (de exemplu: ceară); această metodă are ca și dezavantaj greutatea obținerii unei vâscozități scăzute fără temperatură ridicată excesivă;
- Folosirea unui consolidant dizolvat în solvent; ca și dezavantaj nu putem presupune că consolidantul penetrează atât de mult ca și solventul și totdeauna există riscul ca consolidantul să fie tras înapoi la suprafață pe măsură ce solventul se evaporă;
- Folosirea unui sistem cu vâscozitate scăzută ce suferă o reacție chimică în situ în urma căreia rezultă un produs solid.

Consolidanții sunt aplicați pe suprafața pietrei prin pensulare, pulverizare, comprese, pipetă sau imersie și pătrund în interiorul materialului prin capilaritate. Majoritatea materialelor care au fost testate ca și consolidanți ai pietrei au fost polimeri organici, dar au existat și câteva materiale anorganice ce merită amintite deoarece modul de lucru este oarecum diferit: hidroxidul de calciu și hidroxidul de bariu. Apoi sunt enumerate și descrise tipurile de tratamente ce pot fi aplicate: tratamente cu hidroxid de calciu Ca(OH)_2 , tratamente cu hidroxid de bariu – Ba(OH)_2 , tratamente cu polimeri organici.

3.3. Metodologia de studiu – tehnici și metode de testare aplicate

Este foarte important pentru cercetarea experimentală să fie stabilită încă de la început metodologia de studiu, să fie setate obiectivele acestora și rezultatele ce se doresc a fi obținute. În cadrul acestui subcapitol voi detalia testele și tehnologia adoptată în cadrul studiului efectuat. După cum am menționat anterior, o primă etapă a constat în caracterizarea inițială a materialelor utilizate.

3.3.1. Caracterizarea fizică a varietăților de piatră

Caracterizarea fizică a pietrelor [184] și a altor materiale istorice precum cărămida și mortarul, poate fi realizată prin teste ce definesc:

- structura internă a materialului analizat:
 - porozitatea accesibilă la apă;
 - densitatea reală și aparentă;
 - procentul maxim de absorbție a apei;
 - permeabilitatea la aer;
 - distribuția volumului de pori prin porometrie, prin intruziunea de mercur;
- proprietăți legate de prezența și de mișcarea apei:
 - coeficientul de saturație;
 - coeficientul de absorbție a apei prin capilaritate;
 - absorbția apei sub presiune scăzută (metoda cutiei sau metoda tuburilor Karsten);
 - coeficientul de conductivitate la vaporii de apă;
 - curba de evaporare;
 - coeficientul de dilatare prin absorbția apei;
 - absorbția picăturilor de apă;

- coeziunea internă:
 - modulul de elasticitate (prin măsurarea frecvenței rezonanței);
 - modulul dinamic de elasticitate (prin viteza undei ultrasonice);
 - testul de smulgere (“pull-out”);
 - rezistența de rupere la tracțiune;
 - rezistența de rupere la compresiune;
 - rezistența de rupere la încovoiere;
- proprietăți mecanice ale suprafeței:
 - duritatea superficială;
 - rezistența la abraziune;
 - duritatea superficială măsurată prin recul (metoda cu sclerometrul);
- durabilitatea materialului:
 - cristalizarea prin imersie totală (pentru probe piatra netratată);
 - cristalizarea prin imersie totală (pentru probe piatra tratată);
 - cristalizarea prin imersie parțială;
 - rezistența la îngheț-dezghet;
- diverse caracteristici:
 - aspectul exterior al pietrelor;
 - prelevarea de probe;
 - coeficientului de dilatare termică liniară;
 - conductivitatea electrică.

Pentru caracterizarea materialelor studiate s-au realizat teste ce țin de structura internă a materialului, de proprietățile legate de prezența și de mișcarea apei, de coeziune internă, proprietăți mecanice ale suprafeței și alte caracteristici diverse.

3.3.2. Caracterizarea mecanică a varietăților de piatră

Rezistența mecanică a pietrelor impune comportamentul acestora la acțiuni mecanice exterioare și depinde de rezistență mecanică a componentelor sale mineralogice și de legăturile sale intercrystaline. Caracterizarea mecanică a varietăților de pietre a fost efectuată apelând la teste ce permit evaluarea coeziunii interne, cum este rezistență de rupere la încovoiere sau la compresiune. Alte proprietăți, ca de exemplu viteza de propagare a ultrasunetelor, ne oferă informații indirecte privind aceste caracteristici mecanice. Pentru a realiza caracterizarea mecanică au fost utilizate următoarele încercări:

- viteza de propagare a undelor longitudinale;
- rezistența mecanică la încovoiere;
- rezistența mecanică la compresiune;
- rezistența în profunditate prin metoda micro-forării.

3.3.3. Caracterizarea colorimetrică a varietăților de piatră

Caracterizarea colorimetrică a materialului a fost efectuată într-o formă cantitativă prin intermediul utilizării unui colorimetru.

Caracterizarea colorimetrică a probelor s-a efectuat printr-o formă de măsurare cantitativă cu ajutorul unui colorimetru. Echipamentul, principiile și metodologia

de lucru adoptate pentru realizarea acestei caracterizări a probelor este bazată pe standardul ASTM E308 [133].

Metodele stabilite în norma amintită au fost dezvoltate pentru a fi aplicate pe suprafețe monocromatice și de aceea a apărut nevoia de stabili pentru aplicarea acestora elemente în ceea ce privește suprafața necesară, medierea rezultatelor pe această suprafață, numărul de citiri ce trebuie efectuate la fiecare determinare, etc. Cuantificarea culorii a putut fi obținută utilizând coordonatele cromatice din sistemul colorimetric de referință CIE 1931, în spațiul cromatic uniform CIE 1976. Pentru evaluarea culorii s-a utilizat sistemul CIELAB, determinându-se coordonatele colorimetrice L^* , a^* și b^* .

Astfel, evaluarea cantitativă a culorii este prezentată prin intermediul sistemului CIELAB cu coordonatele L^* , a^* și b^* și, complementar prin valorile cromei, adică saturația de culoare, C^* , ce este obținută cu ajutorul formulei: $C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$. Complementar față de valorile cromatice se poate determina unghiul de nuanță – H ce poate avea valori între 0° și 360° : $H_{ab} = \arctg(b/a)$

Se pot determina și diferențele de culoare ale probelor analizate față de o culoare luată ca referință:

- diferența de culoare ΔE reprezintă distanța geometrică dintre punctele corespunzătoare cu coordonatele $L1$, $a1$, $b1$ și respectiv $L2$, $a2$, $b2$ ce corespund

probei analizate 1 și probei de referință 2: $\Delta E = \sqrt{[(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]}$

- diferența totală de culoare ΔE_{ab} se poate descompune și în componentele care evidențiază diferența de luminozitate, diferența de cromă și diferența de nuanță:

$$\Delta E_{ab} = \sqrt{[(\Delta L)^2 + (\Delta C_{ab})^2 + (\Delta H_{ab})^2]}$$

O metodă importantă de investigare vizuală a suprafeței epruvetelor este cea optică microscopică, metodă ce a fost aplicată și în cadrul acestui studiu. Aceasta permite studiul optic inițial al suprafeței epruvetelor pentru a identifica defecte de suprafață sau a identifica, dacă scara permite, intruziuni ale diferitelor substanțe.

3.4. *Prezentarea planului de lucru*

În cadrul cercetării s-au prelevat specimene de la mai multe construcții din zona de sud – est a României și nu numai, din structura de rezistență a acestora. După identificarea acestora, fiecare bloc de piatră prelevat a fost caracterizat și analizat pentru a se putea extrage din acesta un număr cât mai mare de probe identice din punct de vedere al dimensiunilor finale, probe comparabile.

După analiza și tăierea probelor, am stabilit împreună cu profesorii mei coordonatori planul de studiu pentru aceste epruvete. Acest plan a inclus:

- identificarea și finisarea epruvetelor obținute;
- caracterizarea fizică și mecanică a epruvetelor prin metode nedistructive;
- caracterizarea chimică (atunci când condițiile permit) a epruvetelor;
- caracterizarea fizică și mecanică a epruvetelor prin metode distructive;
- împărțirea epruvetelor pentru tratamente de consolidare și impermeabilizare;
- aplicarea tratamentelor de impermeabilizare și stabilirea condițiilor și a mediului de păstrare a epruvetelor;

- aplicarea tratamentelor de consolidare și stabilirea condițiilor și a mediului de păstrare a epruvetelor;
- caracterizarea fizică și mecanică a epruvetelor prin metode nedistructive după tratament;
- caracterizarea chimică (atunci când condițiile permit) a epruvetelor după tratament;
- caracterizarea fizică și mecanică a epruvetelor prin metode distructive după tratament;
- stabilirea condițiilor de păstrare a epruvetelor;
- stabilirea posibilității realizării testelor de durabilitate.

Pentru caracterizarea epruvetelor s-a încercat realizarea pe fiecare dintre acestea a aceluiași test înainte și după tratamente pentru a putea obține rezultate comparabile pe aceeași probă și între probe. Primul test efectuat a fost cel de culoare și cel optic pentru o caracterizare vizuală și cromatică inițială a suprafeței epruvetelor și a putea observa ulterior dacă tratamentele aplicate, în special produșii folosiți, vor avea un efect de modificare a aspectului inițial al pietrei, acesta fiind un aspect deosebit de important dacă zidăria de piatră rămâne aparentă. Aceste teste au fost urmate de determinarea porozității epruvetelor, aplicării metodei cu ultrasunete, a absorbției de apă sub presiuni scăzute prin intermediul tuburilor Karsten, a absorbției de apă prin capilaritate, a determinării curbei de evaporare, a microforării și apoi cele distructive privind rezistențele mecanice și terminând cu permeabilitatea epruvetelor la vaporii de apă. Menționez că între testele nedistructive probele au fost uscate conform normelor RILEM și atunci când testele o cereau menținute în mediul controlat al laboratorului până ajungeau la masa constantă.

După aplicarea tratamentului, epruvetele au fost ținute în mediul de laborator până la masa constantă cel puțin 28 de zile, apoi toate testele efectuate inițial s-au putut repeta pe fiecare probă tratată. Toată partea de pregătire a testării în laborator s-a desfășurat pe parcursul unui an în laboratoarele Institutului Tehnic Superior din Lisabona și ale Facultății de Construcții din Constanța, iar pentru testarea în situ perioada s-a întins pe parcursul a trei ani. Fiecare test s-a caracterizat printr-o perioadă de pregătire a probelor pentru testare și perioada efectivă de testare a materialelor. De exemplu, pentru testul de porozitate pregătirea testului a durat 5 zilele (probele au stat 4 zile în etuvă și 1 zi în vasul excicator) iar testul efectiv a durat 4 zile, pentru testul de permeabilitate la vaporii de apă pregătirea testului durează 7 zile (crearea mediului, asamblarea celulelor, tăierea probelor și uscarea lor) iar testul efectiv a durat 14 zile. Majoritatea celorlalte teste au durat o zi, însă pregătirea probelor pentru testare a durat între 4 și 14 zile.

3.4.1. Evaluarea acțiunii tratamentelor – criterii de analiză

Evaluarea acțiunii produșilor folosiți în cadrul tratamentului s-a realizat prin studiul eficacității inițiale a tratamentului și a nocivității acestuia asupra suprafețelor tratate. Datorită caracterului heterogen a pietrelor, ce caracterizează orice material natural și datorită numărului relativ redus de probe avut la dispoziție, întotdeauna când a fost posibil s-a realizat caracterizarea aceluiași probe înainte și

după tratament, încercând să se limiteze astfel variabilele ce pot afecta analiza rezultatelor.

Procedurile de aplicare a produșilor în tratamentul materialelor corespund aplicării prin pensulare, prin capilaritate și prin imersie a probei și au fost selectate funcție de obiectivele ce se doresc atinse. Caracterizarea prezenței produsului, asociată fiecărui tratament studiat, a fost efectuată prin intermediul cuantificării în fiecare fază de aplicare a valorilor legate de consumul de produs, cantitatea de produs absorbită de material și masa uscată.

Prin *consum de produs* se înțelege diferența de masă între începutul tratamentului și sfârșitul aplicării sale (cântărind recipientul în care se afla produsul) pe unitatea de suprafața tratată. Pentru determinarea cantității de produs consumată trebuie considerată cantitatea de produs real absorbită, pierderile ce ar putea exista din diverse cauze, la fel ca și pierderile datorate evaporării solventului în timpul procedurii de aplicare. Această formă de contabilizare a consumului de produs poate fi utilizată în timpul punerii în operă, dar poate fi contabilizată și în timpul anumitor operații în laborator.

Cantitatea de produs absorbită de material a fost obținută prin diferența dintre cântăririle epruvetelor înainte și imediat după aplicarea tratamentului, raportată la unitatea de suprafața tratată.

Masa uscată după tratament a fost determinată prin diferența de greutate înregistrată înainte de tratament și după o lună de la aplicarea tratamentului, raportată la greutatea inițială, înainte de tratament a epruvetei. Masa uscată de produs este exprimată în procente și raportată la greutatea inițială a epruvetei.

Aplicarea produselor s-a realizat prin pensulare în condiții de laborator, la o temperatură de $(22 \pm 5) ^\circ\text{C}$ și o umiditate relativă de $(50 \pm 20)\%$. Epruvetele au fost întâi uscate în etuvă, apoi răcite în aer și păstrate în condiții de laborator cel puțin o perioadă 14 zile. Aplicarea prin pensulare a fost realizată până la refuzul suprafeței tratate, prin aceasta înțelegând că refuzul este atins dacă pentru o perioadă de 30 la 60 de secunde suprafața tratată rămâne umedă.

3.4.2. Evaluarea eficacității inițiale a tratamentelor de impermeabilizare

Eficacitatea inițială a tratamentelor de impermeabilizare a fost evaluată pe baza alterării suferite de material în termeni de:

- absorbție de apă – cu ajutorul testelor de determinare a absorbției de apă sub presiune scăzută (metoda cu tuburile Karsten) și absorbției de apă prin capilaritate;
- profunditatea tratamentului – produsele de impermeabilizare pot conduce la adâncimi diferite de penetrare în material funcție de tehnologia de aplicare folosită și astfel pot produce alterări asupra caracteristicilor materialului tratat. Pentru evaluarea acestui tratament s-au folosit teste precum permeabilitatea materialului la vaporii de apă și testul de absorbție a apei prin capilaritate inversă.

3.4.3. Evaluarea nocivității tratamentului de impermeabilizare aplicat

Evaluarea nocivității tratamentului de impermeabilizare aplicat a fost realizată prin intermediul alterărilor produse în termen de:

- permeabilitate la vapori de apă – cu obiectivul de a măsura rata de transmitere a vaporilor de apă ai produsului; este necesar să se folosească același material suport deoarece caracteristicile suportului influențează această rată. În acest sens, evaluarea tratamentului prin această caracteristică s-a efectuat pentru fiecare din diferitele varietăți de piatră;

- caracteristici de uscare – s-a realizat prin determinarea curbei de evaporare și a indicelui de uscare. S-a presupus pentru determinarea indicelui de uscare timpul final al încercării acel timp folosit în caracterizarea inițială a pietrelor înainte de tratament conform recomandărilor NORMAL;

- aspect vizual – prin cuantificarea variațiilor de culoare.

3.4.4. Evaluarea eficacității inițiale a tratamentului de consolidare

Consolidantul trebuie aplicat astfel încât să poată fi garantată o penetrare adecvată în structura poroasă a pietrei, această penetrare fiind influențată de caracteristicile de absorbție ale suportului, natura solvenților, concentrația de produs și timpul de aplicare. Eficacitatea inițială a tratamentului cu consolidanți poate fi evaluată pe baza modificărilor proprietăților suferite de probele de piatră în termeni de:

- structură internă: evaluată, în mod direct sau indirect, prin determinarea vitezei de propagare a ultrasunetelor, rezistența la microforare, rezistența mecanică la încovoiere și rezistența mecanică la compresiune și porometria. Toate aceste determinări au fost efectuate pe probe înainte și după tratamentul cu consolidanți, în aceleași condiții, cu excepția porometriei.
- profunditatea penetrării tratamentului: evaluată direct sau indirect, prin intermediul variației rezistenței la microforare în profunditate, prin determinarea profilului vitezei de propagare a ultrasunetelor, prin profilul permeabilității la vapori și prin determinarea absorbției de apă prin capilaritate inversată.

Acum ceva timp consolidanții nu aveau drept obiectiv alterarea caracteristicilor de absorbție a suportului, prezența acestuia în interiorul materialului trebuia, în principiu, să producă o anumită reducere a capacității de absorbție a apei. Din acest motiv, pot fi utilizate în evaluarea tratamentului și alterările produse în termeni de:

- absorbția superficială de apă – prin intermediul testului de determinare a timpului de absorbție a micropicăturilor;
- absorbția apei – prin intermediul testului de determinare a absorbției de apă sub presiuni scăzute și a absorbției apei prin capilaritate. În urma analizelor efectuate s-au putut realiza doar aceste teste ce țin de absorbția apei.

3.4.5. Evaluarea nocivității tratamentului de consolidare aplicat

Evaluarea nocivității tratamentelor de consolidare a fost realizată în concordanță cu prevederile de la tratamentele de impermeabilizare prin alterările produse în termeni de:

- permeabilitate la vapori de apă;
- caracteristici de uscare;

- aspect vizual;
- și mai pot fi înregistrate alterări în ceea ce privește caracteristicile de dilatare:
- termică liniară;
- prin absorbția de apă.

Din punct de vedere al evaluării nocivității tratamentului de consolidare, în cadrul studiului experimental s-au putut realiza doar primele trei teste amintite aici.

3.4.6. Durabilitatea tratamentului de consolidare

Deși foarte dificil de realizat, evaluarea comportamentului în timp a pietrei tratate este un aspect important condiționat pe de o parte de degradarea proprie a produselor de consolidare folosite și pe de altă parte de alterările pe care aceste produse le produc în materialul original, putând în unele cazuri să accelereze procesul de degradare. În laborator se poate evalua comportamentul relativ la diferite tratamente prin testele de îmbătrânire artificială. În cadrul acestor teste se supun epruvetele unor agenți de îmbătrânire încercând a evalua comportamentul acestora în timp. Având acest obiectiv se pot realiza teste de cristalizare a sărurilor, de expunere la radiații ultraviolete și de imersie prelungită în apă. Determinarea diferitelor alterări produse de fiecare din acțiunile de îmbătrânire artificială la care s-a făcut referire are la bază compararea cu rezultatele experimentale obținute înainte, în timpul și după testele la care s-a făcut referire.

3.5. *Descrierea și caracterizarea materialelor investigate*

3.5.1. Considerații inițiale

În urma selectării și prelucrării acestora pentru a îndeplini exigențele codurilor actuale de încercări nedistructive și distructive a rămas un număr de 20 epruvete de piatră. Probele au fost prelevate din structură a două clădiri de cult ortodox încadrate în lista monumentelor istorice de clasa A, datând din anul 1650 (biserica Dara) și respectiv 1835 (biserica mănăstirii Rătești) amplasate în județul Buzău, de la construcții monument istoric din zona Dobrogei, construcții datând din anul 1780, 1887 și 1920 (cetatea Histria, Enisala) - construcții amplasate în situl istoric sau în zone de protecție istorică [87].

Cercetarea s-a efectuat atât în laborator cât și în situ. Pentru laborator au fost prelevate probe pentru efectuarea încercărilor distructive. Probele au fost prelevate din diferite elemente structurale – îndeosebi ziduri portante exterioare și fundații. Probele au fost prelucrate conform standardelor în vigoare naționale și internaționale. Prelucrarea probelor a constat în tăierea blocurilor de piatră în epruvete cu o formă regulată, finisarea suprafețelor pentru a fi cât mai drepte, îndepărtarea particulelor de praf, măsurarea și cântărirea acestora.



Fig. 3.23. Echipamentul utilizat pentru tăierea blocurilor de piatră și realizarea epruvetelor

3.5.2. Caracterizarea tipurilor de piatră studiate

Pentru caracterizarea fizică, mecanică și colorimetrică epruvetele au fost uscate până la masa constantă în etuvă la $(60 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ și apoi răcite până la temperatura mediului în exsicator. Masa constantă este atinsă când diferența dintre două cântăriri succesive la un interval de 24 de ore nu este mai mare decât 0.1% din masa epruvetei, determinate cu o precizie de 0.01%. După încercări sistematice realizate cu varietățile de pietre studiate s-a constatat că masa constantă este atinsă după 96 de ore, iar acest timp a fost considerat timp de referință pentru uscarea probelor în cadrul testelor. Pentru testele la care acest timp de referință nu a fost respectat riguros se va face referire în text și vor fi descrise condițiile inițiale corespunzătoare. Temperatura de uscare recomandată de RILEM de $60 \pm 5^{\circ}\text{C}$ este aleasă în locul uneia mai mari pentru a evita deteriorarea materialelor organice folosite pentru tratarea pietrei.

Caracterizarea microscopică a epruvetelor de piatră și cărămidă s-a realizat în laboratorul de materiale al Institutului Tehnic Superior din Lisabona.



Fig. 3.25. Vedere microscopică – blocul de piatră tip E

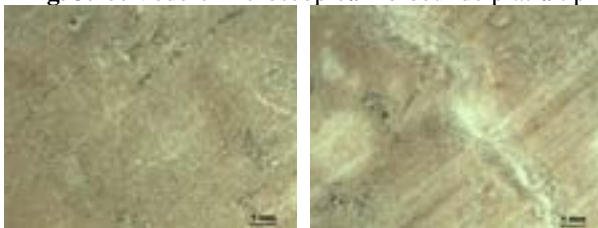


Fig. 3.26. Vedere microscopică – blocul de piatră tip F

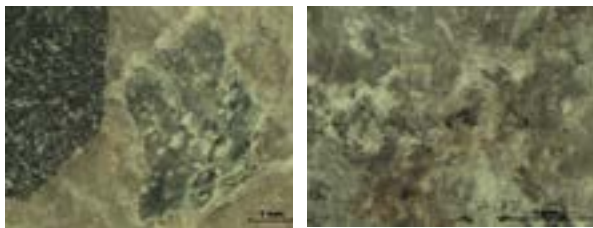


Fig. 3.28. Vedere microscopică – blocul de piatră tip H

Probele pentru testul de porozitate au avut o formă regulată, pentru a putea fi comparate, de obicei cuburi / paralelipiped cu latura de 4 sau 5 cm, deoarece aceasta a oferit o mai bună omogenitate între probe, în special în ceea ce privește gradul de alterare. S-au analizat epruvete din toate cele patru blocuri de piatră prelevate (E,F,G și H) din zonele de interes. Datele au fost înregistrate și centralizate în tabelul 3.3.

Tabel 3.3. Valori ale porozității epruvetelor analizate

Bloc proveniență epruvetă	Număr epruvete analizate	Porozitate ¹
E	3	1,15% ($\pm 0,05$)
F	6	1,87% ($\pm 0,10$)
G	8	1,14% ($\pm 0,08$)
H	8	2,54% ($\pm 0,20$)
C	14	21,84% ($\pm 0,10$)

Datele au fost colectate și centralizate în tabelul 3.4. în care se poate observa că masele volumice nu sunt foarte diferite, valoarea medie a densității reale $\sim 2700 \text{ kg/m}^3$ și densitatea aparentă de $\sim 2634 \text{ kg/m}^3$ în literatura de specialitate fiind caracteristică calcarelor pure.

Tabel 3.4. Mase volumice reale și aparente ale epruvetelor studiate

Bloc proveniență epruvete	Număr epruvete analizate	Porozitate	Densitate reală [kg/m^3]	Abatere standard	Densitate aparentă [kg/m^3]	Abatere standard
E	3	1,15% ($\pm 0,05$)	2698	± 5	2667	± 6
F	6	1,87% ($\pm 0,10$)	2700	± 7	2571	± 8
G	8	1,14% ($\pm 0,08$)	2703	± 6	2672	± 8
H	8	2,54% ($\pm 0,20$)	2694	± 7	2626	± 9
C	14	21,84% ($\pm 0,10$)	2648	± 9	2070	± 23

Pentru determinarea coeficientului de saturație este necesară pe lângă înregistrarea datelor cu privire la procentul maxim de absorbție a apei și înregistrarea procentului de apă absorbit în 48 de ore. Acest procent corespunde volumului porilor în care apa are acces ușor, fiind exprimat prin cantitatea de apă introdusă în sistemul de pori ai pietrei într-o perioadă de 48 de ore de imersie la

¹ Valorile prezentate reprezintă valori medii ale analizelor efectuate pentru fiecare tip de probă.

presiune atmosferică normală, raportat la masa ei uscată. În tabelul 3.5. sunt înregistrate toate rezultatele obținute:

Tabel 3.5. Valorile coeficientului de saturație

Bloc proveniență epruvete	Număr epruvete analizate	Porozitate	% apa		CS
			Maxim (W_{max})	48h (W_{48h})	
E	3	1,15% ($\pm 0,05$)	0,43 ($\pm 0,1$)	0,37 ($\pm 0,5$)	79 (± 6)
F	6	1,87% ($\pm 0,10$)	0,71 ($\pm 0,4$)	0,59 ($\pm 0,7$)	83 (± 4)
G	8	1,14% ($\pm 0,08$)	0,43 ($\pm 0,1$)	0,40 ($\pm 0,2$)	82 (± 2)
H	8	2,54% ($\pm 0,20$)	0,97 ($\pm 0,2$)	0,48 ($\pm 0,1$)	80 (± 6)
C	14	21,84% ($\pm 0,10$)	10,55 ($\pm 0,60$)	7,80 ($\pm 0,30$)	74 (± 5)

* Valorile prezentate sunt valori medii înregistrate.

Valorile coeficientului de absorbție a apei prin capilaritate sunt prezentate în tabelul 3.6 și au fost determinați pe baza încercărilor pe epruvete cu latura de 5 cm. Acești coeficienți permit distingerea a două categorii de materiale cu capacități de absorbție a apei diferite: o categorie cu o capacitate relativ medie de absorbție a apei (C) și piatra H (inclusiv E, F, G) cu o capacitate redusă de absorbție a apei. Acest comportament se justifică raportat la valorile porozității.

Tabel 3.6. Valorile coeficientului de absorbție a apei

Bloc proveniență epruvete	Număr epruvete analizate	Porozitate	Coeficient de absorbție a apei prin capilaritate $\times 10^{-4} [g/cm^2 s^{1/2}]$	Coeficient de absorbție a apei prin capilaritate $[g/cm^2 h^{1/2}]$
E	3	1,15% ($\pm 0,05$)	Nu s-a putut defini	Nu s-a putut defini
F	6	1,87% ($\pm 0,10$)	2,58 ($\pm 0,30$)	0,019
G	8	1,14% ($\pm 0,08$)	3,61 ($\pm 0,25$)	0,072
H	8	2,54% ($\pm 0,20$)	29,00 ($\pm 1,72$)	0,178
C	6	21,84% ($\pm 0,10$)	392,03 ($\pm 82,38$)	3,600

* Valorile prezentate în tabel reprezintă valorii medii ale înregistrărilor efectuate pe numărul de probe analizat.

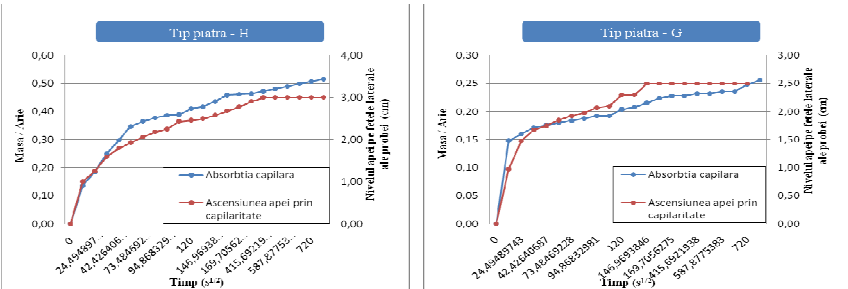


Fig. 3.33. Curbele medii de absorbție a apei prin capilaritate determinate experimental pentru varietățile de piatră studiate (caracterizare inițială) și

reprezentarea ascensiunii coloanei de apă mediată pe fețele laterale ale epruvetei: a. Tipul de piatră H; b. Tipul de piatră G.

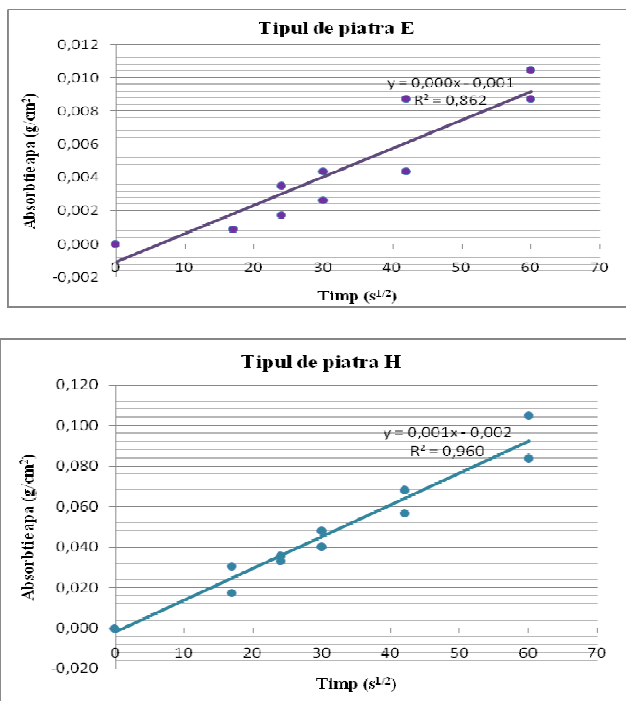


Fig. 3.35. Absorbția apei sub presiune scăzută funcție de timp pentru varietățile de piatră caracterizate (valori medii)

Tabel 3.7. Valorile coeficientului de absorbție a apei sub presiune joasă prin metoda tuburilor Karsten

Bloc proveniență epruvete	Cantitatea de apă absorbită într-o oră [cm³]	Coeficient de absorbție a apei [g/cm² s¹/²]
E	0,055 (±0,005)	0,004
F	0,150 (±0,028)	0,008
G	0,200 (±0,051)	0,010
H	0,600 (±0,069)	0,050
C	2,65 (±0,47)	0,220

* Valorile prezentate în tabel reprezintă valorii medii ale înregistrărilor efectuate pe numărul de probe analizat

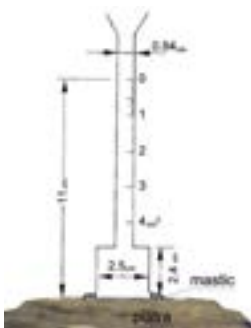


Fig. 3.37. Utilizarea tuburilor Karsten verticale – dimensiuni

Tabel 3.8. Valorile coeficienților de permeabilitate la vapori de apă

Bloc proveniență epruvete	Număr epruvete analizate	Coeficient de permeabilitate la vapori de apă $\times 10^{-9} [\text{kg m}^{-1} \text{h}^{-1} \text{Pa}^{-1}]$
E	3	Nu s-a putut evalua
F	3	0,08 ($\pm 0,03$)
G	3	0,12 ($\pm 0,05$)
H	6	0,20 ($\pm 0,05$)
C	6	$9,49 \times 10^{-6}$

* Valorile prezentate în tabel reprezintă valorii medii ale înregistrărilor efectuate pe numărul de probe analizat

În studiul evaporării apei dintr-o probă de piatră este posibil de evaluat doar fluxul, adică pierderea de apă pe unitatea de suprafață funcție de timp, nefiind posibil a obține informații directe despre stadiul de repartiție a apei în spațiul poros.

În cadrul studiului s-a înregistrat constant temperatura și umiditatea relativă în mediul în care au fost păstrate epruvetele și s-a realizat evaporarea apei. Astfel, temperatura medie înregistrată pe parcursul desfășurării testului pentru epruvetele de piatră și cărămidă a fost de $22,5^{\circ}\text{C} (\pm 1)$, respectiv $23^{\circ}\text{C} (\pm 1,31)$ iar umiditatea relativă medie înregistrată a fost de $52\% (\pm 0,04)$, respectiv $65\% (\pm 0,10)$.

Indicele de uscare ce caracterizează epruvetele studiate de piatră variază între valori precum 0,112 și 0,287, un indice cu valoare mică, spre deosebire de epruvetele de cărămidă ce au un indice de uscare de 2,588.

Proprietățile mecanice ale pietrelor pot fi evaluate prin determinarea vitezei de propagare a undelor longitudinale, chiar dacă rezultatele pot fi influențate de diferiți factori, în special de tipul de structură poroasă a materialului și de procentul în apă.

Tabel 3.10. Viteza de propagare a undelor longitudinale

Bloc proveniență epruvete	Număr epruvete analizate	Viteza medie înregistrată de propagare a undelor longitudinale [m/s]	Masa volumică aparentă [kg/m ³]	Porozitate [%]	IQ [%]
E	3	6000 (±20)	2667 (±6)	1,15% (±0,05)	90,09
F	3	5545 (±112)	2571 (±8)	1,87% (±0,10)	83,25
G	3	6213 (±203)	2672 (±8)	1,14% (±0,08)	93,28
H	6	5288 (±98)	2626 (±9)	2,54% (±0,20)	79,40
C	6	4000 (±114)	2070 (±23)	21,84% (±0,10)	-

Se poate observa că pentru epruvetele din blocurile de piatră valorile înregistrate se apropie de valoarea vitezei “perfecte”.

Determinarea rezistenței în profunzime prin metoda micro-forărilor a fost executată pe epruvete uscate în condiții de laborator și anume uscate în etuvă sau stabilizate în aer în ambientul din laborator. Aceste încercări au fost realizate cu un echipament SINT TECHNOLOGY [211], model DRMS Cordless 2006.

Pentru a se evita introducerea de erori datorate uzurii burghiului, având în vedere că materialul analizat are o rezistență mecanică mare (conform studiului prin încercări distructive – rezistența la compresiune), la începutul testării prin această metodă s-a realizat cu fiecare burghiu o microforare într-un material ale cărui proprietăți sunt cunoscute – piatra Anța, o piatră specifică Portugaliei, cu o porozitate foarte mare în jurul a 28% ... 30% – și s-au înregistrat toate curbele, urmând ca după fiecare 20 de microforari să se recurgă la același procedeu pentru a verifica dacă există diferențe față de curba inițial înregistrată.

Tabel 3.11. Valorile forțelor maxime înregistrate prin încercarea microforării

Bloc proveniență epruveta	Nr probe analizate	Forța maximă [N]
E	1	Nu s-a putut determina
G	1	Nu s-a putut determina
H	2	39,50
C	3	26,33

Caracterizarea colorimetrică a probelor s-a efectuat printr-o formă de măsurare cantitativă cu ajutorul unui colorimetru. Echipamentul, principiile și metodologia de lucru adoptate pentru realizarea acestei caracterizări a probelor este bazată pe standardul ASTM E308 [133].

Tabel 3.12. Coordonatele colorimetrice și corespunzătoare valorilor cromei

Bloc proveniență epruvete	Număr epruvete analizate	L*	a*	b*	C*	H
E	3	68,80 (±1,88)	6,13 (±0,52)	5,49 (±0,54)	8,23 (±0,71)	0,73 (±0,03)
F	3	68,50 (±2,22)	5,67 (±0,36)	4,67 (±1,60)	7,41 (±1,30)	0,69 (±0,13)
G	4	74,04	3,63	3,86	5,30	0,82

		($\pm 1,18$)	($\pm 0,27$)	($\pm 0,65$)	($\pm 0,62$)	($\pm 0,07$)
H	8	73,81 ($\pm 0,50$)	3,87 ($\pm 0,48$)	7,73 ($\pm 1,06$)	8,66 ($\pm 1,09$)	1,11 ($\pm 0,05$)
C	12	44,32 ($\pm 2,15$)	24,20 ($\pm 1,22$)	27,92 ($\pm 2,07$)	36,96 ($\pm 2,34$)	1,12 ($\pm 0,05$)

3.5.3. Caracterizarea produselor folosite la tratarea pietrelor

Caracterizarea produselor folosite la tratarea materialelor studiate s-a realizat având la bază fișa tehnică a produșilor emisă de către producător, având în vedere că produsele utilizate sunt produse comerciale și că producătorul este entitatea cea mai potrivită pentru a caracteriza produsele. Este indicat, dacă există condițiile necesare, să se verifice caracteristicile produsului declarate de către producător pentru a elimina orice suspiciuni și abateri referitoare la proprietățile produsului folosit. Din cauza lipsei echipamentelor necesare acest lucru nu s-a putut realiza și că ipoteză de lucru au fost considerate reale toate caracteristicile declarate de producător în fișa tehnică a produsului. În continuare voi descrie produșii folosiți în tratamentele aplicate probelor, punând accent pe caracteristicile tehnice ale acestora și tehnologia de aplicare recomandată de către producător.

Produsul folosit în tratamentul de impermeabilizare se numește AGUASIL 100 iar producătorul recomandă ca domeniu de aplicare materiale cum ar fi betonul, cărămizile, gresie, tencuielile pe bază de ciment sau var, pietrele naturale sau artificiale, etc. Produsul AGUASIL 100 este o soluție cu solvent (solvent nepolar – cu conținut de hidrocarburi mai mic de 16%) ce conține siloxani oligomeri cu o concentrație de materie activă de 8%. Produsul are o capacitate mare de difuzie și de aceea garantează, în opinia producătorului, o bună penetrare în material. Produsul hidrolizează în polisiloxani neaderenți. Produsul aparține grupului de oligomeri, moleculele sale ușor de polimerizat permit în acest mod pereților să „respire”, cu alte cuvinte permeabilitatea la vapori de apă.

Pentru folosirea acestui produs la tratarea materialelor pentru impermeabilizare este important să se respecte câteva condiții:

- suprafețele ce urmează a fi tratate trebuie să fie curate;
- fisurile mari și găurile trebuie să fie reparate înainte de tratament;
- suprafețele adiacente, ferestrele și tâmplăria trebuie protejate;
- acțiune hidrofugă pentru mai mult de 10 ani;
- în cazul rosturilor umplute cu mortar ale fațadei este preferabil să se aștepte minim 8 zile după aplicare din cauza alcalinității foarte ridicate;
- în cazul prezenței vărului în compoziția mortarului este preferabil să se aștepte 28 de zile înainte aplicării produsului AGUASIL 100;
- aceste perioade de așteptare rămân valabile și în cazul betonului proaspăt;
- suportul sfărâmișos pe care urmează a se aplica produsul trebuie să fie înainte tratat cu un agent de consolidare întăritor (ca de exemplu TEGOVAKON V) cu scopul de a reface liantul și structura minerală originală;
- suportul tratat cu AGUASIL 100 va putea fi vopsit cu o vopsea cu aceeași bază chimică (zidării, betoane, tencuieli).

Pentru tratamentele de consolidare s-a optat pentru produsul TEGOVAKON, acesta fiind un etil ortosilicat folosit pentru consolidarea materialelor minerale

dezagregate. Agenții din acest produs sunt sisteme de monocompenți gata pentru aplicare, având la bază esteri de siliciu și metilsiloxani cu efect de consolidare (TEGOVAKON V) și impermeabilizare (TEGOVAKON T). Se aplică de preferat pe pietre deteriorate, beton și cărămizi cu desprinderi de material (sfărâmicos) și rosturi afectate.

Principalele caracteristici ale consolidanților de tip TEGOVAKON sunt:

- efectul de consolidare;
- monocompență;
- substanțe active compatibile cu materialele de construcție;
- putere mare de penetrare;
- uscat la atingere;
- rezistența la intemperii;
- conservarea permeabilității;
- în mod normal nu se produce nicio alterare optică a suprafețelor tratate.

3.6. Tratamente de impermeabilizare

3.6.1. Considerații inițiale

Studiul experimental al tratamentelor de impermeabilizare a avut drept obiectiv principal contribuția la:

- definirea unei metodologii de studiu a aplicării acestor tratamente tipurilor de piatră analizate (detaliată în cadrul capitolului 4);
- cunoașterea efectului acțiunii tipului de produs de impermeabilizare aplicat în tratamentul pietrelor analizate specifice zonei Dobrogei;
- identificarea și analiza unor factori ce pot condiționa eficacitatea tratamentelor de impermeabilizare.

3.6.2. Evaluarea inițială a eficacității tratamentului

Potențialii factori ce influențează eficacitatea tratamentelor de impermeabilizare sunt:

- cantitatea de produs aplicată: metodologia adoptată în cadrul studiului a permis evaluarea pentru fiecare tip de epruvetă a cantității ideale de produs ce trebuie aplicată pentru a atinge eficacitatea maximă, la fel cum s-a demonstrat că eficacitatea nu este direct proporțională cu cantitatea de produs aplicată;
- variația procedurii de aplicare prin pensulare;
- metoda de aplicare (pensulare, prin absorbția prin capilaritate a produsului, prin imersie totală, prin comprese);
- contactul cu apă: în timpul realizării testelor au fost detectate situații punctuale de redusă eficacitate inițială și de alterări ale acesteia după realizarea testelor ce implică contactul repetat și prelungit cu apă, în special pentru că au fost supuse la diverse încercări de absorbție a apei și la determinarea porozității.

Determinarea procentului de apă absorbită în 48 de ore s-a dovedit a fi informativă în ceea ce privește capacitatea produsului de impermeabilizare de a reduce capacitatea de absorbție a apei în condiții de imersie totală. În cazul tratamentului prin pensulare, valorile înregistrate sunt date în tabelul 3.14 :

Tabel 3.14. Tratament de impermeabilizare. Procentul de apă la 48 de ore

Epruvete	Număr epruvete	Procentul de apă la 48 de ore E_{W48h}
E	3	37,83%
F	3	32,20%
G	3	12,50%
H	4	20,83%
C	6	10,25%

În cazul epruvetelor de piatră sub 3% porozitate, valorile înregistrate trebuie considerate cu foarte mare atenție pentru că valorile măsurate să nu prezinte erori de testare. În cazul epruvetelor de piatră de tip H și a epruvetelor C testate rezultatele au fost relevante și și-au demonstrat eficacitatea.

Tabel 3.15. Tratament de impermeabilizare. Absorbția apei sub presiune scăzută

Epruvete	Număr epruvete	Absorbția apei la presiune scăzută E_{ps_K}
E	3	98,18%
F	3	99,33%
G	3	99,50%
H	6	91,66%
C	6	96,22%

S-a observat că tratamentul de impermeabilizare are efect de întârziere de pătrundere a apei cu 5 zile. Efectul produsului tocmai în acest lucru constă, nu în faptul că apa nu va mai putea penetra materialul, ci timpul în care o va face ceea ce conduce la o reducere a cantității de apă absorbită în cadrul studiului nostru între 20 – 50%.

Tabel 3.16. Tratament de impermeabilizare. Absorbția apei prin capilaritate

Epruvete	Număr epruvete	Absorbția apei prin capilaritate 24h E_c [%]
E	3	66,66%
F	3	52,38%
G	3	77,77%
H	4	80,55%
C	6	94,40%

3.6.3. Evaluarea nocivității tratamentului aplicat

Alterarea caracteristicilor de uscare a suprafețelor produsă prin aplicarea tratamentelor cu produși de impermeabilizare poate fi responsabilă de marea sensibilitate a materialelor la anumite procese de degradare, în special la cristalizarea sărurilor. Astfel, devine importantă cunoașterea acțiunii produsului în ceea ce privește influența sa asupra condițiilor de uscare a materialelor, pentru a fi posibil a evalua modificările și potențială nocivitate a tratamentului.

3.6.4. Concluzii

Din studiul lucrărilor de specialitate s-a remarcat că aplicarea tratamentului de impermeabilizare prin pensulare s-a demonstrat adecvată și eficace inițial. Pe

viitor, pe aceleași tipuri de piatră ar fi interesant să se realizeze și studiul tratamentului prin aplicarea cu comprese, prin pulverizare, prin imersie sau prin absorbția prin capilaritate pentru comparația cu tehnica studiată și pentru a avea argumentul științific necesar a demonstra care ar fi tehnologia potrivită de aplicare – îndeosebi la cele cu structura foarte poroasă.

Absorbția de apă prin capilaritate și procentul de apă absorbit la 48 de ore sunt teste sensibile la acțiunea produșilor de impermeabilizare și natura suportului tratat. Utilizarea conceptului de eficacitate E_c și E_{W48h} , având la baza testul de absorbție a apei prin capilaritate și procentul de apă absorbit în 48 de ore, s-a demonstrat util în stabilirea capacității produșilor de a reduce absorbția de apă a materialului tratat. Din determinările efectuate pentru evaluarea eficacității tratamentelor, absorbția de apă sub presiune scăzută este unică ce se poate executa și în situ. Acest fapt conduce la necesitatea creșterii informațiilor ce sunt obținute în mod obișnuit prin utilizarea să și de aceea este recomandat ca durata încercării să fie mărită până la 24 de ore sau până la absorbția celor 4 cm^3 de apă.

Pentru evaluarea adâncimii de pătrundere atinsă de tratament cunoașterea cineticii absorbției apei prin capilaritate reprezintă alături de timpul de absorbție al micropicăturilor [25], metodologiile cele mai informative și cu aplicare generală.

Rezultatele obținute confirmă ideea existență că acțiunea produșilor variază funcție de materialul ce urmează a fi tratat. De aceea este recomandat ca studiul tratamentelor să se realizeze pe materiale suport ale unor epruvete reprezentative pentru materialul ce se dorește tratat.

3.7. *Tratamente de consolidare*

3.7.1. **Considerații inițiale**

Eficacitatea determinată pe baza rezistenței la microforare este definită ca un raport procentual între diferența valorilor forțelor medii la microforare a grosimii de material consolidate (MF_i) și cea a epruvetei netratate (MF_{NT}) raportate la forță medie de microforare pentru epruveta netratată (MF_{NT}).

Eficacitatea determinată pe baza rezistenței la încovoiere se evidențiază cu relația:

$$E_{\sigma_{f_inc}} = \frac{\sigma_{f_incT} - \sigma_{f_incNT}}{\sigma_{f_incNT}} \cdot 100$$

Eficacitatea determinată pe baza rezistenței la încovoiere este definită ca un raport procentual între diferența valorilor forțelor medii la încovoiere a materialului consolidat (σ_{f_incT}) și cea a epruvetei netratate (σ_{f_incNT}) raportate la forță medie de încovoiere pentru epruveta netratată (σ_{f_incNT}).

Eficacitatea determinată pe baza rezistenței la compresiune se evidențiază cu relația:

$$E_{\sigma_c} = \frac{\sigma_{cT} - \sigma_{cNT}}{\sigma_{cNT}} \cdot 100$$

Eficacitatea determinată pe baza rezistenței la compresiune este definită ca un raport procentual între diferența valorilor forțelor medii la compresiune a

materialului consolidat (σ_{cr}) și cea a epruvetei netratate (σ_{cNT}) raportate la forță medie de compresiune pentru epruveta netratată (σ_{cnr}).

Eficacitatea determinată pe baza propagării ultrasunetelor se evidențiază cu relația:

$$E_{us} = \frac{V_T - V_{NT}}{V_{NT}} \cdot 100$$

Eficacitatea determinată pe baza vitezei de propagare a ultrasunetelor este definită ca un raport procentual între diferența valorilor vitezelor medii de propagare a ultrasunetelor prin materialul consolidat (V_T) și cele ale epruvetelor netratate (V_{nr}) raportate la viteza medie de propagare a ultrasunetelor pentru epruvetele netratate (V_{nr}).

Eficacitatea determinată pe baza absorbției apei sub presiune scăzută (metoda tuburilor Karsten) se calculează cu relația:

$$E_{ps-K} = \frac{P_{NT} - P_T}{P_{NT}} \cdot 100$$

Eficacitatea determinată pe baza absorbției de apă sub presiune scăzută este definită ca un raport procentual între diferența cantitativă de apă absorbită la sfârșitul unui interval de timp înainte (P_{NT}) și după tratament (P_T) și absorbția de apă înregistrată în același interval de timp înainte de tratament.

Eficacitatea determinată pe baza absorbției de apă prin capilaritate se calculează cu relația:

$$E_c = \frac{C_{NT} - C_T}{C_{NT}} \cdot 100$$

Eficacitatea determinată pe baza absorbției de apă prin capilaritate este definită ca un raport procentual între diferența cantitativă de apă absorbită la sfârșitul unui interval de timp înainte (C_{NT}) și după tratament (C_T) și absorbția de apă înregistrată în același interval de timp înainte de tratament.

Potențialul nociv al tratamentelor de consolidare a fost evaluat prin alterările de culoare, de permeabilitate la vapori de apă și prin caracteristicile de uscare. La fel ca pentru evaluarea eficacității, evaluarea potențialei nocivități a fost realizată prin compararea caracteristicilor materialului înainte și după tratament. Potențiala nocivitate a fost evaluată prin intermediul alterărilor înregistrate ale caracteristicilor de permeabilitate la vapori de apă (N_δ) și a caracteristicilor de uscare (N_w).

Potențiala nocivitate a tratamentului determinată pe baza modificărilor permeabilității la vapori de apă se determină cu relația:

$$N_\delta = \frac{\delta_{NT} - \delta_T}{\delta_{NT}} \cdot 100$$

Potențiala nocivitate a tratamentului determinată pe baza diferenței dintre coeficientul de permeabilitate la vapori de apă înainte (δ_{NT}) și după tratament (δ_T) și coeficientul de permeabilitate la vapori de apă înainte de tratament.

Potențiala nocivitate a tratamentului determinată pe baza modificărilor caracteristicilor de uscare a epruvetei se determină cu relația:

$$N_{IU} = \frac{IU_{NT} - IU_T}{IU_{NT}} \cdot 100$$

Potențiala nocivitate a tratamentului se determină pe baza diferenței dintre indicii de uscare înainte (IU_{NT}) și după tratament (IU_T) și indicii de uscare înainte de tratament.

3.7.2. Evaluarea eficacității inițiale a tratamentului

Există o legătură strânsă între caracteristicile acțiunii de consolidare și procesul de aplicare al acestuia. În cazul studiului de față am folosit o singură procedură de aplicare a produsului de consolidare – prin pensulare, însă simt nevoia de a remarcă că atunci când sunt analizate mai multe produse aplicate prin mai multe metode, devine și mai important studiul factorilor ce pot influența sau condiționa acțiunea consolidantului.

Un astfel de studiu al influenței diferitelor modalități de aplicare a tratamentului în cadrul caracterizării acțiunii de consolidare constă într-o analiză comparativă:

- a creșterilor durității superficiale rezultată din tratamentele aplicate prin imersie, absorbție capilară, comprese și pensulare;
- a rezistenței la microforare, rezistența din tratamente aplicate prin imersie, absorbție capilară, comprese și pensulare;
- a reducerii absorbției de apă de-a lungul timpului pentru o perioadă de timp a tratamentului aplicat prin imersie, absorbție capilară, comprese și pensulare;
- a variațiilor de culoare (imersie / pensulare / absorbție capilară / comprese);
- a profundității atinse de acțiunea consolidantului în tratamentele rezultate din imersie / pensulare / absorbție capilară / comprese;
- a creșterii rezistenței la încovoiere și a vitezei de propagare a undelor longitudinale și a alterărilor absorbției de apă înregistrate în imersii / capilaritate;
- a rezistenței la microforare (pensulare / diferite cantități de produs).

În urma cercetărilor efectuate din literatură de specialitate am putut constata faptul că aplicarea prin pensulare conduce la acțiuni consolidante similare celor prin imersie așa cum a demonstrat Ana Paula Pinto [76].

Tabel 3.22. Tratamente de consolidare. Creșterea vitezei de propagare a undelor longitudinale

Tip piatră	Viteza [m/s]		Creștere E_{us} [%]
	NT	T	
E	3200 (±80)	3670 (±80)	17 (±1)
G	4520 (±260)	4960 (±370)	16 (±5)
H	4950 (±120)	5240 (±30)	7 (±2)
C	4750 (±200)	5190 (±160)	7 (±1)

Determinarea rezistenței la microforare ca metodă de evaluare a acțiunii tratamentului de consolidare este o metodă foarte bună ce oferă multe informații, atât în laborator cât și în situ, în special referitor la distribuirea acțiunii consolidantului în profunditatea materialului.

Tabel 3.23. Tratamente de consolidare. Rezistența la microforare

Epruvete	Rezistența mecanică la microforare [MPa] NT	Rezistența mecanică la microforare [MPa] T	Creșterea rezistenței mecanice la microforare E_{MF} [%]
C	26,33	35,63	35,32%

Rezultatele încercării de compresiune și creșterea de rezistență oferită de tratamentul de consolidare sunt prezentate în tabelul 3.24.

Tabel 3.24. Tratamente de consolidare. Rezistența mecanică la compresiune

Tipuri de piatră	Rezistența mecanică la compresiune		Creșterea rezistenței la compresiune E_{σ_c} [%]
	NT	T	
C	52,36	66,12	26,28%

Rezistența mecanică la compresiune atestă concluziile trase după rezultatele obținute prin testarea rezistenței mecanice la microforare și evidențiază acțiunea favorabilă a consolidantului.

Prezența produșilor de consolidare în grosimea materialului consolidat se reflectă prin alterarea spațiului poros original a suportului material și, prin consecință, a caracteristicilor legate de prezența și mișcarea apei în interiorul său. Aceste alterări nu permit evaluarea directă a acțiunii consolidante, ci furnizează informații complementare importante în evaluarea globală a acțiunii de consolidare.

Tabel 3.25. Valori ale porozității determinate în apă

Epruvete	Porozitate [%]		Număr epruvete
	NT	T	
C	21,84%	19%	10

Tabel 3.26. Tratamente de consolidare. Parametrii legați de alterarea cineticii mișcării apei în spațiul poros

Tipuri de piatră		Porozitate	Procent absorbție de apă %		Coeficient saturare	Număr epruvete
			maxim	48 de ore		
C	NT	21,84%	10,55	7,80	74	6
	TG	19%	8,70	7,66	88	6

3.7.3. Evaluarea nocivității tratamentului aplicat

Importanța cunoașterii diferențelor de caracteristici în zonele consolidate și materialul original pentru estimarea potențialului nociv introdus de aplicarea unui anumit produs de consolidare dat, a condus la necesitatea de a încerca materialul cel mai reprezentativ posibil cu grosimile consolidate.

Toate tratamentele de consolidare au fost responsabile de reduceri superioare valorii de 10% a permeabilității diferitelor pietre conform tabelului 3.28.

Tabel 3.28. Tratamente de consolidare. Coeficientul de permeabilitate la vapori de apă

Epruvete	Coeficient de permeabilitate la vapori de apă $\cdot 10^{-9}$ [kg / m · h · Pa]		Reducerea de permeabilitate la vapori de apă N_{δ} [%]	Număr epruvete
	NT	T		
C	$9,49 \times 10^{-6}$	$8,36 \times 10^{-6}$	11,90%	3

Toți consolidanții generează alterări ale cineticii evaporării apei din varietățile de piatră studiate pentru un timp de uscare de 820 de ore dar alterările sunt nesemnificative.

Caracterizarea alterărilor colorimetrice produse de tratamente de consolidare a fost realizată pentru toate tipurile de material analizate.

Coordonatele L^* și b^* au fost cele mai afectate de aplicarea consolidantului, înregistrându-se la toate pietrele reducerea lui L^* și creșterea lui b^* ce se traduce prin întunecarea și îngălbenirea suprafețelor tratate. Dacă $\Delta E^* > 5$ atunci variațiile de culoare pot fi percepute de ochiul uman [120].

3.8. Considerații finale și noi direcții de cercetare experimentală

3.8.1. Considerații finale

În urma analizei procedurilor și rezultatelor obținute pentru tratamentele de impermeabilizare am propus o metodologie de studiu a acestor tratamente aplicabilă pietrelor studiate. Sarcina de a păstra valoarea istorică și artistică a clădirilor realizate din piatră este una complexă, care cere îngrijiri particulare în definirea intervențiilor de conservare. Complexitatea provine din diversitatea situațiilor întâlnite, în special a varietăților de piatră, formele și procesele de degradare prezente în imobile, la fel ca și diferitele condiții de expunere ambientală.

Intervențiile asupra unui anumit monument istoric trebuie foarte bine studiate în particular pentru acel monument, pentru tipul respectiv de material, din cauza faptului că utilizarea unor proceduri, metodologii și produși inadecvați pot fi răspunzătoare de avarii ireparabile ce conduc la pierderea elementelor și a clădirilor cu valoare ridicată de patrimoniu.

În ultimele decenii a existat și la noi în țară un început și o nevoie din ce în ce mai ridicată de a adopta măsuri de conservare a patrimoniului în toate formele sale, cu obiectivul de a trata sau de a întârzia procesele de degradare și astfel a prelungi viața monumentului respectiv. Stadiul actual de cunoaștere în această arie nu permite luarea cu ușurință a unei decizii în cea mai mare parte a situațiilor, în mod particular la cele care se referă la aplicarea produșilor pentru tratament. Astfel, definirea metodelor de studiu și a criteriilor de acceptare sau respingere a produșilor pentru tratament sunt aspecte prioritare în aria de conservare a pietrei.

Definirea metodologiilor de studiu acceptate în consens și existența criteriilor de aplicabilitate sau neaplicabilitate, se prezintă ca fiind două aspecte fundamentale în luarea deciziilor referitoare la planificarea intervențiilor și în alegerea produșilor adecvați. Prezentul studiu a încercat să contribuie la definirea metodologiei de utilizare în studiul acțiunii produșilor hidrofugi asupra pietrelor specifice zonei Dobrogei cu precădere, dar nu numai. Condițiile în care se realizează încercările, precum și cele anterioare și care le urmează trebuie să fie atent controlate și identificate în ceea ce privește procentul de apă existent în materialele tratate și intervalul de timp între aplicarea tratamentului și începutul studiilor.

Capacitatea produselor hidrofuge de reducere a absorbției de apă a suportului este evaluată adecvat prin testul de absorbție a apei prin capilaritate. Utilizarea

conceptului de eficacitate (E_c) definit pe tot parcursul testului s-a dovedit destul de informativă. Testul absorbției de apă sub presiune scăzută realizat timp de o oră s-a dovedit puțin informativ. Metoda poate fi mai folositoare dacă se prelungește durata acestuia la 24 de ore. Rezultatele acestui test pot fi exprimate prin conceptul de eficacitate (E_{ps_K}) referindu-se la durata de absorbție de 24 de ore. Datorită prevederii în recomandările laboratoarelor că toate fețele laterale să fie impermeabilizate, determinarea procentului absorbției apei la 48 de ore este o metodă facilă și rapidă în execuție, ce oferă informații destul de multe raportat la capacitatea produsului de a reduce absorbția de apă a suportului. Acțiunea produselor poate fi exprimată prin definirea eficacității (E_{w48h}) evaluată prin acest test.

Cunoașterea relativă a adâncimii de penetrare atinsă de produși poate fi obținută prin intermediul testului de absorbție a apei prin capilaritate inversă. În utilizarea acestui ultim test, la materialele heterogene se recomandă caracterizarea absorbției de apă prin capilaritate prin intermediul feței opuse celei tratate, înainte de aplicarea tratamentului de impermeabilizare.

Studiul potențialului nociv al tratamentelor de impermeabilizare trebuie realizat având două obiective: pe de o parte trebuie evaluată posibilitatea ca produșii să producă modificări importante în aspectul vizual al suprafețelor și pe de altă parte, evaluarea posibilității ca ele să fie responsabile de creșterea sau dezvoltarea unor noi forme de degradare a suporturilor.

Alterările cromatice ale suprafețelor pot fi evaluate calitativ prin observație vizuală și cuantificate prin determinarea variațiilor coordonatelor cromatice.

Caracterizarea prin intermediul permeabilității la vapori de apă și a curbei de evaporare nu s-a realizat și interpretat ușor. După un astfel de tratament, în evaluarea nocivității este important a se evalua și cristalizarea sărurilor.

În ceea ce privește mediul de expunere, atunci când condițiile permit, se recomandă ca obiectul de studiu să fie tratat și urmărit în timp din punct de vedere al durabilității tratamentului, în ceea ce privește evoluția acțiunii sale de-a lungul timpului în condiții reale de expunere.

3.8.2. Propuneri de noi direcții de cercetare experimentală

În cadrul studiului tratamentelor de la subcapitolele 3.6. și 3.7. s-au dezvoltat aspecte interesante ce se pot constitui în linii de investigare pentru dezvoltarea lucrărilor viitoare, că de exemplu:

- verificarea posibilității de generalizare a metodologiei propusă aici pentru tratamentele de impermeabilizare și consolidare aplicată asupra tuturor varietăților de piatră specifice ariei de interes - zona Dobrogei;
- dezvoltarea lucrărilor specifice cu obiectivul de a defini proceduri normalizate de studiu cu privire condițiile de aplicare și cele de expunere dinaintea și după aplicarea tratamentului, perioada de timp ce trebuie respectată între aplicare și începutul studiului și proceduri eficiente de aplicare a produșilor;
- definirea criteriilor de acceptare / respingere a produșilor hidrofugi și de consolidare;

- dezvoltarea studiilor specifice cu obiectivul de a evalua stabilitatea tratamentelor de impermeabilizare față de situațiile de contact cu apă și a tratamentelor de consolidare în timp – durabilitatea acestora;
- studiul de stabilitate în timp a probelor expuse în ambientul natural;
- dezvoltarea studiilor specifice ce permit corelarea nocivității potențiale a tratamentelor de impermeabilizare cu modificări produse în cadrul desfășurării testului de evaporare a apei.

Capitolul 4 Studii și cercetări experimentale privind conservarea și restaurarea structurilor de patrimoniu – cetatea Histria

4.1. Instrumente și metodologii de studiu a conservării

În urma cercetărilor teoretice și experimentale efectuate, în decursul celor 5 ani de studiu, am propus o metodologie de studiu pentru tratamentele de impermeabilizare și pentru tratamentele de consolidare ce se pot aplica în studiul tratamentelor de conservare a pietrei, ca linii directoare, bazându-mă pe rezultatele menționate în capitolul 3 și 4. În prezentul subcapitol se vor cumula toate cunoștințele dobândite în cei cinci ani de studiu și mai ales experiența obținută în urma lucrărilor de conservare și reabilitare la care am avut ocazia să particip datorită îndrumărilor mele de doctorat, prof.univ.dr.ing. Ana Maria Grănescu – participarea în cadrul proiectelor de reabilitare a construcțiilor de patrimoniu naționale efectuate în cadrul Universității Ovidius din Constanța, Facultatea de Construcții, de exemplu: biserica mănăstirii Rătești - județul Buzău, biserica Schimbarea la față – județul Constanța, mănăstirea Târgșor - județul Prahova și alături de ș.l.dr.ing. Ana Paula Pinto, împreună cu doctoranda Bruna Silva – participarea în cadrul proiectului de conservare al castelului Maurilor din Sintra, Portugalia, în vederea propunerii unor metodologii de studiu specifice construcțiilor de patrimoniu menite a ușura sarcina specialiștilor în conservare.

Metodologia de studiu propusă pentru tratamentele de impermeabilizare include succesiunea următoarelor etape:

1. Pregătirea studiului prin prelevarea și tăierea epruvetelor, caracterizarea materialului ce se dorește conservat – piatra naturală – din punct de vedere fizic, chimic, mecanic, optic, petrografic, dar și a produsului de conservare ales. Un alt aspect important aici este setarea obiectivelor și pe baza acestora întocmirea unui plan de lucru. Este important să avem în vedere că studiul este indicat să se realizeze atât în condiții de laborator cât și în situ, pentru ca rezultatele să se apropie cât mai mult de comportarea reală.
2. Determinarea eficacității inițiale: are drept obiectiv evaluarea capacității produsului de a realiza un tratament eficient prin evaluarea directă a acțiunii sale și determinarea prealabilă a condițiilor în care aceasta poate fi atinsă, respectiv cantitate de produs și procedeu de aplicare.
În această etapă trebuie să fie definită cantitatea „ideală” de produs ce trebuie aplicat. Aceasta este obținută pe epruvete cu dimensiuni regulate datorită ușurinței aplicării tratamentului pe acestea prin pensulare și posibilității de a putea compara rezultatele obținute. Cantitatea „ideală” de produs hidrofug este obținută când determinările testelor de absorbție a

micropicaturilor și a unghiului de contact al apei cu suprafața materialului au valori superioare (100%, respectiv 90°), respectiv când absorbția apei sub presiune scăzută determinată pe un timp de încercare de 24 de ore nu prezintă alterări semnificative față de valorile înregistrate anterior aplicării produsului. Dacă creșterea cantității de produs aplicate nu dă rezultat și nu permite satisfacerea condițiilor menționate anterior, se recomandă să se încheie studiul produsului respectiv și să se înceapă studiul unui nou produs. Această etapă se încheie prin evaluarea alterărilor produse caracteristicilor de absorbție de apă prin capilaritate și a procentului de apă la 48 de ore, pe epruvete ce prezintă patru fețe laterale impermeabilizate, respectiv 5 din 6 fețe impermeabilizate.

Dacă se poate observa cu ochiul liber modificarea culorii suprafeței tratate în cazul unei construcții de patrimoniu cu valoare autentică, atunci se poate lua decizia ca produsul să nu fie utilizat, chiar dacă la acțiunea apei s-au obținut rezultate și tendințe favorabile.

3. Evaluarea stabilității potențiale a tratamentelor: această etapă are drept obiectiv evaluarea alterărilor de culoare produse de aplicarea produselor și a stabilității la radiația ultravioletă.

În această etapă se evaluează stabilitatea tratamentului de impermeabilizare definit în etapa anterioară, prin teste ce includ testul cu radiații ultraviolete (dat fiind faptul că aceste tratamente sunt utilizate în ambientul exterior și astfel sunt expuse acțiunii solare), prin teste ce implică contactul prelungit și repetat cu apa și prin evaluarea alterărilor de culoare. Producții ce satisfac cerințele etapelor anterioare trec în etapa a patra și a cincea de studiu, etape ce pot fi implementate și în paralel.

4. Evaluarea potențialei nocivității: această etapă evaluează potențialul nociv al produșilor, cu obiectivul de a obține informația ce va permite estimarea riscurilor asociate aplicării produșilor.

Această etapă are drept obiectiv evaluarea potențialei nocivități a produșilor folosiți și astfel obținerea unor informații ce permit estimarea riscului asociat aplicării sale. Acest obiectiv este extrem de dificil de concretizat din cauza existenței unor anumite lacune în acest domeniu. În această etapă se propune evaluarea comportamentului probelor tratate și netratate în raport cu testele de cristalizare a sărurilor și a capacității de „respirație” a suportului, acesta din urmă realizat prin cuantificarea alterărilor caracteristicilor curbei de evaporare și de permeabilitate la vapori de apă după aplicarea tratamentului. Se recomandă abandonarea studiului produșilor ce conduc la reducerea semnificativă a caracteristicilor de uscare și a rezistenței suportului la cristalizarea sărurilor și încheierea acestei etape. Este foarte important în această etapă să se realizeze aceste evaluări, în măsura în care materialul prelevat permite, pe aceleași epruvete, pentru a putea mai bine acțiunea produsului, comparând aceeași suprafață, nu suprafețe diferite.

5. Evaluarea durabilității în ambientul natural: această etapă evaluează acțiunea produșilor în condiții reale de expunere.

În această etapă se recomandă:

- pregătirea probelor tratate și netratate de dimensiuni considerabile (bucăți din zid de piatră) – testarea se va face în situ sau în condiții asemănătoare celor din situ;
- caracterizarea capacității de umezire, prin determinarea unghiului de contact al apei cu suprafața, absorbția apei sub presiune scăzută pentru o perioadă de testare de 24 de ore și cuantificarea alterărilor de culoare produse de către tratament în măsura în care toate aceste teste se pot realiza;
- implementarea unor acțiuni regulate de control în timp concretizate într-un plan de mentenanță al construcției; identificarea situațiilor de stabilitate scăzută a tratamentelor de impermeabilizare la sfârșitul unui an de expunere conduce la sugestia propunerii ca această evaluare să se realizeze anual [25];
- când suprafețele analizate prezintă pierderi ale caracteristicilor hidrofuge (de exemplu determinarea unghiului de contact $< 90^\circ$, absorbția apei sub presiune scăzută – direct în situ) se recomandă analiza evoluției înregistrate a caracteristicilor absorbției de apă și dacă după un an de expunere încă se înregistrează pierderi aceste produse prezintă un interes practic scăzut, deoarece necesită lucrări de mentenanță cu periodicitate incompatibilă în termeni economici.

Metodologia de studiu propusă pentru tratamentele de consolidare reprezintă un ghid general de orientare pentru studiul acțiunii produșilor de consolidare ce a fost stabilit având la bază principiul că merită realizat studiul tratamentelor ce au o acțiune de consolidare efectivă.

Prima etapă are drept obiective principale evaluarea aplicabilității potențiale a produșilor de consolidare și definirea condițiilor de aplicare ce permit obținerea tratamentelor cu rezultate satisfăcătoare ce trebuie realizată în două faze: evaluarea potențialului de aplicabilitate al consolidantului și selecția proceselor de aplicare. Se recomandă ca în prima etapă evaluarea aplicabilității produșilor de consolidare să fie realizată prin intermediul rezultatelor obținute pe baza determinării rezistenței la microforare fiind procedura de evaluare cea mai directă a acțiunii consolidantului. Experiența redusă de utilizare a acestei proceduri alături de inexistența criteriilor orientative înțelese ca fiind necesare pentru obținerea unei acțiuni de consolidare efective îngreunează prezentarea condițiilor de acceptare / refuz a produsului. Din bibliografia studiată și cunostiintele împărtășite din lucrările experimentale ale îndrumătorilor mei se recomandă detectarea acțiunii de consolidare pe o grosime de minim 15 mm – aceasta fiind o bază de referință acceptabilă. Aplicarea produșilor de consolidare prin capilaritate în prima fază, este recomandată pentru o perioadă de 3 ore – procesul caracterizându-se prin consum redus de produs și repetabilitate. Dacă testul nu conduce la rezultate în profunditatea materialului atunci se poate încerca aplicarea testării pe o perioadă mai lungă de 3 ore. Dacă nu se obțin rezultate satisfăcătoare (detectarea prezenței consolidării pe o grosime în apropierea valorii de 15 mm) studiul trebuie abandonat.

Într-o a doua fază a acestei etape se urmărește evaluarea acțiunii consolidantului prin determinarea posibilității de a obține același rezultat sau similar prin alt proces de aplicare, de exemplu imersia timp de 24 de ore sau pensularea. În situ este mai la îndemână aplicarea tratamentului prin pensulare, însă este destul de dificil de determinat în această etapă adâncimea până la care a ajuns produsul mai ales dacă porozitatea materialului este relativ mică. Acest lucru se va realiza doar dacă în prima fază s-au obținut rezultate și în profunditatea materialului. Interesul pentru procesul de aplicare prin pensulare are la bază faptul că în situ este procedeul cel mai comun și ușor de realizat. Dependența acțiunii produșilor de procedeul de aplicare conduce la propunerea ca studiul să fie continuat, în etapele următoare, pe epruvete tratate conform procedurii, cu rezultatele cele mai bune din etapa întâi.

Etapa a doua are drept obiective caracterizarea tratamentelor din punct de vedere al alterărilor de culoare, al porometriei, a absorbției de apă și a caracteristicilor superficiale față de radiația ultravioletă, evaluarea stabilității unui astfel de tratament cu produsul X. Pentru a încheia concluzionez că în etapa a doua trebuie realizate următoarele acțiuni:

- caracterizarea porometriei și a absorbției de apă prin capilaritate;
- dacă produsul urmează a fi aplicat într-un mediu interior, această etapă se termină cu evaluarea alterării de culoare, prin controlul diferențelor totale de culoare; în caz contrar se va trece la:

- Expunerea epruvetelor tratate la un număr de ore (numărul fiind stabilit funcție de ambientul natural) de radiații ultraviolete (de exemplu Pinto în [25] propune pentru lucrările de cercetare 1000 de ore);
- Evaluarea stabilității caracteristicilor de duritate superficială la radiații ultraviolete, după determinarea durității suprafeței prin zgâriere, în situațiile în care duritatea superficială înregistrată la sfârșitul orelor de expunere este inferioară durității originale a suportului, se recomandă selecția unui nou produs pentru atingerea obiectivului dorit;
- Evaluarea alterărilor de culoare, în situația în care tratamentul indică stabilitatea caracteristicilor după orele de expunere la radiație; dacă nu se înregistrează alterări ale aspectului vizual ce se consideră limitative ($\Delta E^* \leq 5$) și nu se detectează reducerea stabilității la radiații ultraviolete se poate trece la etapele de studiu trei și patru.

În etapa a treia se propune evaluarea alterărilor înregistrate referitoare la capacitatea de „respirare” a suporturilor (prin intermediul caracteristicilor de uscare / evaporare și de permeabilitate la vaporii de apă, a absorbției de apă sub presiune scăzută), a alterărilor absorbției de apă (pe epruvete tratate prin imersie sub vacuum) și comportamentul relativ al epruvetelor tratate și netratate față de simulările de cristalizare a sărurilor, cu alte cuvinte a potențialului nociv al tratamentului. Se recomandă abandonarea studiului produsului ce produce alterări importante ale caracteristicilor de „respirare”, „dilatare” și a rezistenței suportului la cristalizarea sărurilor, din cauza potențialului nociv. Se pot continua studiile produșilor ce suferă doar alterări ale caracteristicilor relaționate cu „respirația” și

„dilatarea” suportului, dată fiind inexistentă unor criterii internaționale acceptate pentru aceste caracteristici.

Etapa a patra are drept obiectiv estimarea, în condiții reale de expunere, a durabilității tratamentelor și posibilitatea ca acestea să fie responsabile de reducerea durabilității suporturilor pe care au fost aplicate. În caracterizarea acestei etape se recomandă:

- pregătirea și expunerea epruvetelor tratate și netratate, de dimensiuni considerabile în situ și în laborator;
- evaluarea stabilității acțiunii consolidante având drept referință comportamentul epruvetelor netratate;
- caracterizarea durității superficiale, a rezistenței la microforare, a absorbției de apă sub presiune scăzută și a alterărilor de culoare;
- adoptarea acțiunilor anuale de control, dat fiind faptul că, în succesiunea studiului, s-a determinat începutul degradării superficiale a epruvetelor consolidate la sfârșitul unui an de expunere.

Pentru verificarea aplicabilității produșilor în condițiile reale din situ, se realizează următoarele:

- caracterizarea suporturilor de tratat, atunci când este posibil, susținută de un studiu al epruvetelor în laborator;
- determinarea profilului alterat, prin determinarea rezistenței la microforare, cu obiectivul de a determina grosimea de material necesară a se consolida;
- aplicarea consolidanților în acord cu procedurile selectate având la bază studiile de laborator sau, dacă acest lucru nu a fost posibil, cu alte procedee mai adecvate condițiilor reale întâlnite în operă;
- cuantificarea consumurilor de produs și a cantității de produs absorbită de materialul suport;
- evaluarea rezultatelor tratamentelor prin intermediul rezistenței la microforare (mai ales în cazul aplicării tratamentului prin comprese sau pensulare);
- evaluarea rezultatelor tratamentelor prin intermediul rezistenței la compresiune (spre deosebire de tratamentele de impermeabilizare, tratamentele de consolidare modifică structura internă a materialului pe care este aplicat și astfel de teste mecanice își demonstrează relevanța);
- controlul rezultatelor în timp, prin intermediul acțiunilor de inspecție periodică ce permit determinarea acțiunilor de mentenanță și / sau reparare și obținerea informațiilor relevante ce susțin intervențiile viitoare.

În cazul tratamentelor de conservare decizia de a interveni cu produși de consolidare trebuie foarte bine analizată și verificată deoarece produce modificări în interiorul materialului, modificări ireversibile. Consider că în acest caz accentul trebuie pus pe durabilitatea intervenției și potențialul nociv al acesteia, cum lucrează produsul în timp. Aici cercetarea ar trebui extinsă și la nivel microscopic, chimic, atât al materialului suport cât și a produsului folosit.

Metodologiile propuse pentru tratamentele de conservare au avut la bază în primul rând cercetările experimentale efectuate pe materialul analizat și cercetările experimentale la care am participat alături de coordonatoarele mele.

Un alt instrument realizat în urma cercetărilor efectuate este fișa de analiză a construcției de patrimoniu în vederea selectării metodei de intervenție și a

tratamentului de conservare oportun. În baza cercetării efectuate de mine, coroborat cu normele metodologice din 18 aprilie 2008 aprobate de Ministerul Culturii și Patrimoniului Național referitoare la inventarierea, clasarea monumentelor istorice am efectuat o grilă de analiză și cercetare a construcțiilor monument istoric realizate din piatră, grilă pe care o consider deosebit de importantă în procesul de cuantificare analitică a elementelor structurale care asigură rezistența și stabilitatea în exploatare la un moment dat și totodată încadrarea și adoptarea unor măsuri de intervenție oportune.

FIȘA PRIVIND ANALIZA STĂRII TEHNICE A MONUMENTELOR ISTORICE REALIZATE DIN PIATRĂ NATURALĂ

Capitolul 1. Identificarea construcției de patrimoniu:		
1.1.	Denumire actuală	
1.2.	Denumire anterioară	
1.3.	Categorie conform clasificării MCPN	
1.4.	Cod LMI	
1.5.	Amplasament (stat, județ, localitate, strada, nr.)	
1.6.	Nominalizare amplasament anterior după caz (în cazul în care monumentul a fost strămutat)	
1.7.	Identificare cartografică cu specificarea sistemului cartografic utilizat	
1.8.	Tipul proprietății (proprietate publică, privată, mixtă)	
Capitolul 2. Caracteristici ale monumentului		
2.1.	Identificare istorică (an construcție, autori, meșteri, pictori)	
2.2.	Identificare funcție de componentele artistice (stil, zonă, elemente de peisaj cultural și natural)	
2.3.	Funcțiunea actuală și funcțiunea anterioară	
2.4.	Caracteristici ale amplasamentului (în ansamblul urban, geotehnice, geomorfologice), încadrarea din punct de vedere al standardelor actuale	
Capitolul 3. Descrierea obiectivului monument istoric (individual)		
3.1.	Plan (suprafața construită, suprafață desfășurată)	
3.2.	Regim de înălțime	
3.3.	Descriere fațade	
3.4.	Descriere acoperiș	
3.5.	Descriere construcții anexe, extinderi	
3.6.	Descriere sistem constructiv și materiale constitutive	
Capitolul 4. Descrierea obiectivului din punct de vedere structural		
4.1.	Elemente specifice perioadei de realizare a monumentului, elemente autentice, elemente de originalitate	
4.2.	Descrierea infrastructurii (materialul de construcție utilizat, tehnologia de realizare, elemente autentice, elemente de originalitate)	
4.3.	Descrierea suprastructurii (materialul utilizat, sistemul structural adoptat, tehnologia de realizare, elemente autentice, elemente de originalitate)	
4.4.	Descrierea soluției constructive pentru planșeele curente (material, prezentarea soluției constructive, prezentarea	

	tehnologiei de execuție, elemente autentice, elemente de originalitate)	
4.5.	Descrierea acoperișului (material, prezentarea soluției constructive, prezentarea tehnologiei de execuție, elemente autentice, elemente de originalitate)	
4.6.	Specificații privind istoricul lucrărilor de intervenții la lucrări de structură	
Capitolul 5. Lucrări de arhitectură		
5.1.	Finisaje exterioare (materiale utilizate, tehnologii, elemente de autenticitate)	
5.2.	Finisaje interioare la pereți (materiale utilizate, tehnologii, elemente de autenticitate)	
5.3.	Finisaje interioare la tavane (materiale utilizate, tehnologii, elemente de autenticitate)	
5.4.	Analiza vitraliilor (materiale utilizate, tehnologii, elemente de autenticitate)	
5.5.	Analiza tâmplăriei (materiale utilizate, tehnologii, elemente de autenticitate)	
5.6.	Analiza pardoselilor (materiale utilizate, tehnologii, elemente de autenticitate)	
5.7.	Analiza învelitorilor (materiale utilizate, tehnologii, elemente de autenticitate)	
5.8.	Specificații privind istoricul lucrărilor de intervenții la lucrări de arhitectură	
Capitolul 6. Analiza instalațiilor aferente construcției monument istoric		
6.1.	Instalații de încălzire (materiale, tehnologii, autenticități)	
6.2.	Instalații electrice (materiale, tehnologii, autenticități)	
6.3.	Analiza instalațiilor de apă canal (materiale, tehnologii, autenticități)	
6.4.	Analiza instalațiilor de ventilație (materiale, tehnologii, autenticități)	
6.5.	Specificații privind istoricul lucrărilor de intervenții la aceste instalații	
Capitolul 7. Elemente privind starea tehnică a obiectivului monument istoric		
7.1.	Starea tehnică a imobilului din punct de vedere al rezistenței și stabilității construcției bazat pe observații vizuale și coroborat cu actualele prescripții tehnice și acte normative (se are în vedere elementele generale de conformare structurală conform actualelor prevederi realizându-se o analiză comparativă cu elementele de conformare structurală pe care le posedă structura)	
7.2.	Starea tehnică a imobilului din punct de vedere al siguranței în exploatare coroborat cu exigențele prescripțiilor tehnice actuale	
7.3.	Starea tehnică a imobilului din punct de vedere al siguranței la foc coroborat cu exigențele prescripțiilor tehnice actuale	
7.4.	Starea tehnică a imobilului din punct de vedere al igienei, sănătății oamenilor, refacerea și protecția mediului	
7.5.	Starea tehnică a imobilului din punct de vedere al izolației termice, hidrofuge și economia de energie	
7.6.	Exigențele obiectivului conform actualelor prescripții tehnice	

	privind protecția împotriva zgomotului	
7.7.	Aspecte privind modul în care instalațiile aferente construcțiilor respectă actualele prescripții tehnice și acte normative	
Capitolul 8. Modalitatea în care proprietarii / administratorii obiectivului monument istoric au respectat prevederile existente în obligațiile privind folosința în conformitate cu Ordinul 2684/18 iunie 2003 al Ministerului Culturii și Patrimoniului Național		
Capitolul 9. Analiza factorilor de risc care afectează obiectivul monument istoric		
9.1.	Riscul seismic (prezentarea istoricului de încadrare al amplasamentului în conformitate cu prevederile actelor normative privind proiectarea antiseismică a construcțiilor precum și prezentarea succintă a evenimentelor cunoscute ca reacție a obiectivului la acest risc)	
9.2.	Riscul acțiunilor climatice (acțiunea vântului, a zăpezii, cu prezentarea istoricului evenimentelor / accidentelor consemnate pentru obiectivul analizat)	
9.3.	Riscul agresivității chimice generat de amplasamentul monumentului (riscul agresivității climatice, noxe, ploi acide)	
9.4.	Riscul agresivității marine	
9.5.	Riscul privind agresivitatea solului, precum și agresivitatea pânzei freatice	
9.6.	Riscul privind eroziunea pentru obiectivele amplasate în zonele de coastă la Marea Neagră, pe taluze la ape	
9.7.	Riscul inundației	
9.8.	Riscul alunecărilor de teren generată de factori naturali sau de acțiuni umane	
Capitolul 10. Analiza comportării materialului constitutiv (degradări, diminuări ale rezistențelor specifice) în vederea stabilirii măsurilor de intervenție și a soluțiilor de compatibilitate conservativă		
10.1.	Identificarea caracteristicilor autentice ale materialului constitutiv	
10.2.	Prezentarea metodei de investigare în scopul aprecierii gradului de vulnerabilitate și reacție la contactul cu factorii de risc	
10.3.	Specificații privind gradul de depreciere al materialului cu identificarea zonelor critice	
10.4.	Stabilirea parametrilor de comparație în vederea alegerii soluției compatibile de restaurare locală sau generală a zonelor afectate	
Capitolul 11. Identificarea tehnologiilor autentice utilizate pentru realizarea obiectivului monument istoric		
11.1.	Referințe privind structura	
11.2.	Referințe privind elementele de finisaj interior și exterior	
11.3.	Elemente privind instalațiile	
11.4.	Analiza privind compatibilitatea conservării și integrării în lucrările de restaurare a acestor tehnologii	
Capitolul 12. Analiza conservării integrate a construcției monument		
12.1.	Propuneri de conservare și punere în siguranță limitată	
12.2.	Propuneri de conservare și reabilitare a unor componente structurale	

12.3.	Propuneri de conservare și reabilitare a unor componente de arhitectură	
12.4.	Propuneri de conservare și reabilitare a unor componente privind instalațiile	
12.5.	Propuneri de conservare și reabilitare de ansamblu a structurii	
12.6.	Propuneri de conservare și reabilitare a materialului constitutiv	
12.7.	Propuneri de conservare și reabilitare asigurând încadrarea construcției în clasele de importanță conform funcțiunii	
12.8.	Propuneri de conservare și reabilitare în vederea post-utilizării obiectivului	
12.9.	Propuneri de conservare și asigurare a rezistenței și stabilității componentelor existente în vederea introducerii în circuitul turistic	
12.10.	Propuneri de declasare a obiectivului	
Colectiv interdisciplinar Expert / specialist atestat MCPN conform legii 422/2001 Proprietar / administrator Inginer structurist Arhitect Inginer geotehnician Specialist în componente artistice Istoric Laborator de încercări / Fișe privind rezultatele laboratorului de încercări Specialist în încercări nedistructive Reprezentant al autorității locale cu atribuții în conservarea și protejarea monumentelor istorice		

Fișa de analiză realizată se dorește a fi un instrument de analiză și înregistrare extrem de util specialiștilor în conservare. Ea constituie baza întocmirii unei baze de date relevante pentru construcțiile de patrimoniu din piatră naturală din țara noastră – chiar din fiecare regiune în parte – fiind un punct de plecare în luarea deciziilor de intervenție optime fiecărui caz în parte. Bineînțeles că pe măsura cercetării în profunzime a subiectului, această fișă poate suferi modificări.

4.2. Cetatea Histria – studiu de conservare

O parte din materialul analizat în cadrul lucrării de cercetare a fost material prelevat de la Cetatea Histria din Dobrogea. Cetatea Histria a fost prima colonie greacă de pe țărmul de vest al Mării Negre și cel mai vechi oraș de pe teritoriul României. Conform analizei istorice efectuate, Cetatea Histria a fost întemeiată pe la jumătatea secolului al VII-lea î.Hr. (aproximativ 657 î.Hr. după istoricul Eusebius) de coloniștii veniți din Milet. Începând din perioada greacă și până în epoca romano-bizantină, orașul s-a dezvoltat încontinuu timp de 1300 de ani. Au existat și perioade ce și-au lăsat amprenta asupra cetății, cum ar fi distrugerea acesteia de atacurile avaro-slave de la sfârșitul secolului VI și din cursul secolului VII, ce au condus la o părăsire treptată a acesteia de către locuitorii săi. Ruinele acestei cetăți, începute a fi investigate încă din 1914, se constituie într-un izvor foarte important pentru cunoașterea istoriei Dobrogei greco-romane. În istoria

cețaii se identifică perioada greacă (secolul VII – I î.Hr.), perioada romană și perioada romano – bizantină.

În acest capitol sunt centralizate rezultatele obținute privind caracterizarea epruvetelor de tip H, epruvetele fiind tăiate conform dimensiunilor recomandate de RILEM din probe de piatră prelevate de la Cetatea Histria.

După caracterizarea inițială a probelor și identificarea stadiului de degradare s-a putut întocmi planul de studiu pentru testarea epruvetelor cu un tip de produs de impermeabilizare și unul de consolidare. Numărul epruvetelor fiind unul restrâns (11 epruvete) planificarea studiului a constituit o etapă importantă în vederea stabilirii în timp a testelor ce trebuie efectuate și a ordinii în care acestea trebuie efectuate pentru a avea cât mai multe date despre epruvetă. În cazul construcțiilor de patrimoniu materialul prelevat este întotdeauna insuficient și de aceea cel ce poate fi prelevat trebuie utilizat cât mai eficient.

Am propus a fi efectuate două tipuri de tratamente: unul de impermeabilizare și un tratament de consolidare conform metodologiei evidențiate la subcapitolul 4.1. cu aceiași produși descriși în capitolul 3. În urma aplicării tratamentelor, s-a putut observa o eficacitate inițială bună a tratamentului de impermeabilizare și un potențial nociv foarte redus. Tratamentul de consolidare nu și-a dovedit eficiența inițială într-un mod evident. Rezultatele înregistrate au demonstrat o tendință de îmbunătățire a comportării, însă nu putem afirma fără echivoc ca rezultatul final va fi unul pozitiv și durabil. Cantitatea de produs absorbită a fost una foarte mică datorită porozității reduse a materialului. Pentru acest tip de piatră cu o porozitate atât de scăzută tratamentul cu produși de consolidare de tipul celui folosit în capitolul 3 nu conduce la rezultate satisfăcătoare și totodată afectează și structura internă a materialului. Cea mai bună soluție de conservare în acest caz este aplicarea unui tratament de impermeabilizare care să diminueze efectul acțiunii apei asupra materialului și să încetinească degradarea acestuia.

După aplicarea tratamentului de impermeabilizare caracteristicile relaționate cu mișcarea apei s-au modificat astfel:

- procentul de apă absorbit la 48 de ore a suferit o diminuare a valorilor inițiale de aproximativ 20%;
- absorbția apei sub presiune scăzută a suferit o diminuare a valorilor inițiale de aproximativ 90%;
- absorbția apei prin capilaritate a suferit o diminuare a valorilor inițiale de aproximativ 80%.

În urma realizării testelor pentru verificarea potențialului efect nociv al tratamentului acestea au indicat o ușoară diminuare sau menținerea parametrilor existenți inițial. Aspectul vizual nu a fost afectat în urma aplicării tratamentului de impermeabilizare. Ca direcții viitoare de cercetare recomand repetarea testelor la intervale regulate de timp în vederea observării modificării caracteristicilor înregistrate în urma testelor și urmăririi în timp a evoluției post tratament. Pentru a putea compara și a alege cea mai bună variantă recomand și testarea unor epruvete cu altă categorie de produși de impermeabilizare pentru a putea compara rezultatele obținute și a găsi cel mai bun produs pentru tratament. De asemenea aș recomanda și testarea mai multor variante de aplicare a produsului (nu numai prin

pensulare) pentru a determina soluția cea mai bună din punct de vedere al cantității de produs absorbit de către suprafață.

Concluzionând cele analizate în cadrul capitolului pot afirma că în acest caz, din punct de vedere al conservării o soluție ce poate fi adoptată este tratarea materialului cu produși de impermeabilizare, tratament superficial ce nu afectează structura internă a materialului. Dintre produșii existenți pe piață în cadrul acestui studiu nu a fost testat decât un produs aplicat prin pensulare pe suprafața de încercat, produs ce și-a dovedit eficacitatea în urma rezultatelor înregistrate. Foarte importantă este și testarea aplicării acestui produs și în situ pe o porțiune de zid existent pentru a putea observa comportarea acelor suprafețe în timp sub acțiunea factorilor climatici și abia apoi poate fi recomandată aplicarea produsului pe întreaga suprafață a zidurilor.

Capitolul 5 Concluzii

5.1. Rezultatele cercetării. Îndeplinirea obiectivelor propuse ale tezei

Prezentul capitol expune rezultatele studiilor obținute pe parcursul programului de cercetare și recomandări privind direcțiile viitoare de cercetare în domeniul conservării elementelor sau structurilor din piatră naturală. Cercetarea efectuată a fost atât una documentară privind stadiul actual al cunoașterii, dar mai ales una experimentală desfășurată atât în laborator cât și în situ. În cadrul cercetării în situ, în prima fază, am urmărit evaluarea stadiului actual de degradare prin observații, prin studiu experimental în situ cu ajutorul metodelor de încercare nedistructive și apoi prelevarea de probe în vederea testării mai amănunțite în laborator. Cercetarea experimentală efectuată în laborator a permis stabilirea unor proceduri de lucru în vederea stabilirii eficacității tratamentelor aplicate, a potențialului nociv al tratamentului și stabilirea unor direcții în vederea evaluării durabilității tratamentelor de conservare.

Este dificil de realizat o idealizare și de stabilit o anumită soluție de intervenție ce trebuie acceptată într-o anume situație pentru un monument istoric, deoarece fiecare monument istoric are un caracter aparte și fiecare trebuie analizat și evaluat corespunzător. Deci nu există o rețetă prestabilită ce se poate aplica. Ceea ce se poate face însă, prin intermediul studiilor de cercetare existente și a studiilor de caz din literatura de specialitate, este o procedură de urmat în analiza unui astfel de monument. Se poate realiza o metodologie de lucru pentru studiul, evaluarea și analiza unei construcții de patrimoniu. O astfel de propunere a fost făcută de către autor în capitolul 4, subcapitolul 4.1.

În cadrul programului de cercetare, activitățile derulate vin în sprijinul dezvoltării unei atitudini benefice conservării și protejării monumentelor istorice prin furnizarea unor elemente deosebit de valoroase inginerilor care se ocupă de reabilitarea monumentelor istorice, dar și factorilor cu atribuții în gestionarea acestora. Obiectivele planului de cercetare contribuie în mod direct la aplicarea și promovarea măsurilor cuprinse în cadrul legislativ și totodată la evidențierea unor componente menite să îmbunătățească acțiunile susținute în cadrul legislativ. Faptul că la ora actuală în România nu există prescripții tehnice și acte normative care să reglementeze corespunzător acțiunea de conservare și protejare a

construcțiilor monument istoric, nu există ghiduri, metode și proceduri care să vină în sprijinul acestor acțiuni, prin activitatea de cercetare desfășurată în cadrul programului doctoral am urmărit dezvoltarea cunoașterii în domeniu, crearea unor metode și modele de analiză structurală care să se constituie în materiale constitutive ale unor ghiduri și prescripții tehnice în domeniu. Activitatea desfășurată vine în sprijinul implementării și dezvoltării cadrului legislativ existent. Deosebit de importantă în activitatea de restaurare am considerat că este stabilirea unor priorități în ceea ce privește lucrările de restaurare, punerea în valoare și revitalizarea monumentelor pornind de la rolul pe care acestea îl au în comunitatea locală.

Prin obiectivele planului de cercetare s-a dorit susținerea elaborării unor planuri integrate de protejare a patrimoniului în conformitate cu convențiile europene, având în vedere că fiecare bun imobil cu valoare de patrimoniu trebuie să dobândească o utilizare coroborată cu asigurarea exigențelor structurale și cu rolul de catalizator al proceselor sociale, așa după cum se prezintă principiile adoptate prin Carta de la Veneția 1964.

Obiectivele planului de cercetare au vizat dezvoltarea unor acțiuni care să vină în sprijinul dezvoltării durabile a zonelor protejate pe baza conservării integrate a patrimoniului imobiliar. Întreg planul de cercetare reprezintă o abordare complexă a unor măsuri și principii dobândite în formarea mea profesională în domeniul protejării patrimoniului cultural imobil ca inginer care trebuie să fie capabil a asigura cu măsurile de intervenție capacitatea portanța necesară unei structuri în contextul conservării și punerii în valoare a elementelor de patrimoniu. În cadrul programului educațional însoșit în timpul facultății, a cursurilor de masterat și a pregătirii doctorale mi-am însușit un volum de cunoștințe teoretice în acest domeniu și totodată am dobândit și o experiență apreciabilă prin lucrările efectuate, prin multitudinea studiilor de caz abordate, prin cercetările efectuate atât în laboratorul Facultății de Construcții cât și în cadrul stagiului din Portugalia.

În acest sens apreciez că am avut șansa unei formări profesionale deosebite cu formatori din țară și din străinătate, posesori ai unor experiențe vaste. Atât conducătorii de doctorat cât și întreg colectivul de cercetare din cadrul Facultății de Construcții și al Institutului Superior Tehnic din Lisabona, au o activitate de zeci de ani în domeniul restaurării construcțiilor monument istoric, realizate cu precădere cu structura din piatră, sunt persoane atestate ca experți tehnici în acest domeniu cu realizări remarcabile pe plan național și internațional. Din ambele instituții am beneficiat de formare profesională în acest domeniu, asigurându-mi o atitudine coerentă și în scopul protejării monumentelor istorice.

În acest sens menționez: în România – am efectuat cursul de restaurare din piatră inclusiv practică la Bonțida în cadrul cursurilor în pregătirea de licență o mare parte a prelegerilor au fost pentru restaurarea și conservarea monumentelor istorice, cursul de evaluare a proprietăților imobiliare absolvit în scopul acceptării mele ca membru în UNEAR, mi-a oferit șansa de a mă specializa în domeniul evaluării construcțiilor monument istoric, iar fiecare studiu de caz la care am lucrat în cadrul programului doctoral a constituit o experiență unică care a adăugat o plus valoare la formarea mea profesională.

În cadrul programului educațional derulat la Lisabona – prin Universitatea Ovidius – program Erasmus, am absolvit cursurile de formare profesională: „Planuri de inspecție și mentenanță a clădirilor” și: „Tehnici de reabilitare a construcțiilor” organizate de FUNDEC - Asociația pentru formare și dezvoltare în Inginerie civilă și Arhitectură; studiile de caz adoptate în cadrul încercărilor de laborator au fost efectuate cu deosebită minuțiozitate sub îndrumarea unor specialiști de prestigiu (ș.l.dr.ing. Ana Paula Pinto, conf.dr.ing. João Gomes Ferreira și prof.dr.ing. Fernando Branco), au contribuit la desăvârșirea obiectivelor 2, 3 și 4 din planul de cercetare doctorală.

În cadrul lucrărilor desfășurate în laboratorul Institutului Tehnic Superior din Lisabona, care se constituie în elemente de originalitate în soluționarea temei de doctorat, am efectuat diferite încercări pe probe preluate de la monumente istorice din România și Lisabona, pe un număr apreciabil de epruvete, urmărind cuantificarea cât mai reală a caracteristicilor mecanice, fizice ale materialului constitutiv, precum și interpretări asupra materialului compozit zidărie din piatră.

Au fost făcute încercări de laborator privind: durabilitatea, rezistența la rupere, rezistență la compresiune, porozitatea, capilaritatea, permeabilitatea, indicele de uscare și altele, inclusiv s-a recurs în analizele efectuate la proceduri de îmbătrânire artificială pentru obținerea unor parametrii cât mai apropiați de o comportare reală a construcției. Această parte teoretică și experimentală a fost prezentată detaliat în cadrul capitolelor 3 și 4.

Pentru fiecare cercetare experimentală făcută s-a întocmit o fișă sintetică cu interpretarea rezultatelor obținute, exprimarea grafică a variațiilor. Interpretarea rezultatelor cercetării pentru fiecare parametru a constituit un subiect supus dezbaterii colectivului de cercetători iar aceste comunicări s-au materializat într-o serie de măsuri și interpretări care au fundamentat (proceduri) metodele și tehnicile de analiză cât și criteriile de stabilire a factorilor care pot modifica comportarea în timp a construcțiilor din piatră și care pot fi estimate în calculul structurii. Ele stau la baza realizării modelului de calcul pentru programele existente la noi (de calcul a structurilor) și totodată reprezintă un material valoros de fundamentare a metodelor și tehnologiilor noi menite să conserve, să reabiliteze structurile din piatră.

Rezultatele cercetării se constituie într-o bază de date importantă pentru cuantificarea gradului de vulnerabilitate al construcțiilor monument istoric, grila de analiză propusă având drept scop identificarea atât a elementelor valoroase care a stat la baza încadrării construcțiilor în lista monument istoric aprobată de către Ministerul Culturii și Patrimoniului Național cât și pentru stabilirea modului de comportare în timp, a mărimii parametrilor de calcul, a stabilirii modelului de calcul, a fundamentării unor măsuri urgente care să împiedice riscul unor degradări iminente, a adoptării unor măsuri de intervenție, de conservare și chiar de urmărire a comportării în timp.

În multe situații astfel de grile pot furniza argumente de declasare a unor construcții în cazul în care datorită lipsei de intervenție sau datorită unor atitudini pasive din partea administratorilor au fost depreciate componentele valoroase și a fost afectată grav rezistența și stabilitatea.

Elementele furnizate în fișa de analiză propusă pot contribui la fundamentarea unor propuneri de intervenție în cadrul unor programe comune cu țări partenere, mai ales cu țările care fac parte din Uniunea Europeană. Acest ultim aspect se referă la construcții monument istoric care fac parte din circuitul UNESCO precum și la monumente istorice amplasate în zonele de graniță.

Prin rezultatele cercetării apreciez că se poate fructifica și experiența acumulată în anul 2008 cu prilejul declarării Sibiului capitală culturală a Europei și în mod deosebit în vederea promovării unor programe similare acestuia și pentru euro-regiunile discutate prin convenția cadru europeană adoptată la Madrid și ratificată de România prin Ordonanța de Urgență nr 120 / 1998.

Rezultatele cercetării au fost valorificate prin realizarea de către autor a unui număr de 8 articole prezentate în bibliografie, susținute în cadrul unor manifestări științifice naționale și internaționale, de exemplu Conferința de Încercări Nedistructive din Istanbul, Turcia din 2010 organizată de RILEM, conferințele WATER 2010 și 2012, precum și în cadrul unor rapoarte de cercetare științifică (5) prezentate atât în Centrul de Cercetare în Inginerie Civilă al Facultății de Construcții cât și în cadrul stagiului efectuat în Portugalia.

Având modelul marilor universități din Europa de care am luat cunoștința cu prilejul conferințelor și schimburilor de experiență, am întocmit un ghid – o fișă, cuprinzând tehnici și metode de analiză structurală a construcțiilor monument istoric necesare în activitatea de restaurare, de conservare cât și de urmărire a comportării în timp.

5.2. Contribuții personale în cadrul activității de cercetare

Pe parcursul elaborării lucrării, mai multe elemente de originalitate au fost adoptate și introduse în programul de cercetare și astfel se pot evidenția următoarele contribuții:

- ✓ realizarea unei sinteze documentare în cadrul capitolului 2 privind stadiul actual al cunoașterii în vederea stabilirii tipului de degradare al elementelor din piatră și al evidențierii posibilelor măsuri de intervenție;
- ✓ realizarea unei sinteze documentare privind tratamentele de conservare (tratamente de impermeabilizare și consolidare) în ceea ce privește producții ce pot fi aplicați, tehnologiile de aplicare disponibile și soluțiile ce pot fi adoptate;
- ✓ analiza vizuală și documentară a unor construcții din piatră monument istoric din județele Constanța, Tulcea, Buzău din România și din Sintra și Lisabona, Portugalia;
- ✓ selectarea celor mai reprezentative studii experimentale și efectuarea unei cercetări aprofundate atât în situ, cât și în laborator privind stadiul de degradare, soluțiile de investigare și restaurare adoptate la: Mănăstirea Rătești – construcția bisericii – județul Buzău; Mănăstirea Targșor județul Prahova – cercetarea construcției infrastructurii pridvorului și a zidului de sprijin; construcția bisericii Dara județul Buzău; construcția bisericii comunei Nicolae Bălcescu, județul

Constanța; construcția chiliilor Mănăstirea Sinaia; construcția bisericii „Sf. Margareta” Mediaș, construcția bisericii Biertan județul Sibiu;

- ✓ în perioada derulării programului de cercetare am participat împreună cu conducătorii de doctorat la elaborarea unor studii privind comportarea construcțiilor din piatră la obiective amplasate în zone seismice importante (construcții aparținând mănăstirii Rătești, județul Buzău; biserica Dara, județul Buzău) sau obiective amplasate în zone cu agresivitate marină, în zone cu vulnerabilitate a stabilității taluzului cum ar fi Biserica Greacă Constanța, catedrala Sfântul Petru și Pavel, biserica din Nicolae Bălcescu, monumentul rupestru de la Basarabi, construcții aparținând lăcașurilor de cult musulman – turco-tătar (de exemplu geamia din Amzacea) sau lăcașuri de cult aparținând cultului ortodox (unele dintre ele amintite mai sus) cum ar fi: biserica “Sf. Mare Mucenic Gheorghe” din Constanța; un alt obiectiv la care am participat și mi-am adus contribuția la testarea experimentală a soluției de intervenție, atât în laborator cât și în situ, a fost castelul Maurilor din Sintra, Portugalia.
- ✓ la structurile identificate am analizat proprietățile mecanice, chimice și fizice ale materialului constitutiv, analiză efectuată atât în situ cât și în laborator;
- ✓ în cadrul identificării structurilor constructive, al analizelor efectuate, am întocmit clasificări de soluții constructive pentru construcțiile monument istoric analizate pe criterii de compoziție structurală, tehnologie, materiale utilizate. Acestea sunt prezentate dezvoltat în capitolele 2 și 3;
- ✓ în cadrul programului de cercetare am identificat factorii care contribuie la degradarea structurilor de rezistență, la degradarea materialului constitutiv;
- ✓ evidențierea criteriilor și modurilor de intervenție la clădiri de patrimoniu din piatră prin trecerea în revista a normelor de actualitate naționale și internaționale (legi, carte, convenții);
- ✓ elaborarea unor metodologii de aplicare a tratamentelor de conservare (de impermeabilizare și consolidare) în vederea stabilirii eficacității tratamentelor și a posibilelor efecte nocive ale tratamentului asupra materialului; stabilirea unor primi pași în vederea evaluării durabilității tratamentelor de conservare aplicate;
- ✓ stabilirea unei modalități de cuantificare a efectului pozitiv sau negativ al tratamentelor de conservare pentru tipurile de piatră studiate experimental în laborator;
- ✓ elaborarea unei fișe de analiză a monumentelor istorice în vederea intervenției de conservare ce poate fi folosită pentru monitorizarea acestora în timp;
- ✓ pentru patru tipuri de piatră caracteristice zonei Dobrogei am realizat studii experimentale de laborator în vederea stabilirii unui tratament de conservare eficient (tratamente de impermeabilizare sau consolidare) ale căror rezultate vor putea fi considerate și folosite în lucrările de

- intervenție ulterioare sau măcar folosite ca bază de cunoaștere pentru testarea altor tipuri de produși de impermeabilizare și consolidare;
- ✓ evidențierea aplicabilității metodologiilor propuse pe un studiu de caz relevant pentru zona de sud-est a României – cetatea Histria.

5.3. Direcții de cercetare viitoare

Considerațiile finale și dezvoltarea studiilor viitoare specifice fiecărui tip de tratament au fost prezentate la sfârșitul capitolului 3 (subcapitolul 3.8.) în această lucrare.

Astfel, consider că aici este important de prezentat câteva sugestii pentru lucrări viitoare ce necesită un studiu mai aprofundat. Unul dintre aceste studii ar trebui să facă referire la validarea și perfecționarea metodologiilor de studiu a produșilor utilizați pentru tratamentele de impermeabilizare și consolidare prin:

- stabilirea unor proceduri acceptate național de aplicare a produșilor de impermeabilizare și consolidare;
- stabilirea unei serii de încercări definite ca și proceduri prin care să fie evaluat rezultatul unui astfel de studiu al tratamentului aplicat;
- stabilirea unor criterii de acceptare și respingere pentru alterările suferite de stratul suport în urma aplicării produșilor de impermeabilizare și consolidare.

În cadrul studiului tratamentelor de impermeabilizare s-au dezvoltat aspecte interesante ce se pot constitui în linii de investigare pentru dezvoltarea lucrărilor viitoare, ca de exemplu:

- ✓ verificarea posibilității de generalizare a metodologiei propusă în cadrul lucrării pentru tratamentele de impermeabilizare aplicată asupra tuturor varietăților de piatră specifice ariei de interes - zona Dobrogei;
- ✓ dezvoltarea lucrărilor specifice cu obiectivul de a defini proceduri normalizate de studiu cu privire condițiile de aplicare și cele de expunere dinaintea și după aplicarea tratamentului, perioada de timp ce trebuie respectată între aplicare și începutul studiului și proceduri eficiente de aplicare a produșilor;
- ✓ definirea criteriilor de acceptare / respingere a produșilor hidrofugi;
- ✓ dezvoltarea studiilor specifice cu obiectivul de a evalua stabilitatea tratamentelor de impermeabilizare față de situațiile de contact cu apă;
- ✓ studiul de stabilitate în timp a probelor expuse în ambientul natural;
- ✓ dezvoltarea studiilor specifice ce permit corelarea nocivității potențiale a tratamentelor de impermeabilizare cu modificări produse în cadrul desfășurării testului de evaporare a apei.

O altă direcție de cercetare ar constitui studiul influenței caracteristicilor spațiului poros în vederea obținerii unor rezultate optime în urma tratamentelor. Acest studiu ar trebui concentrat pe caracterizarea spațiului poros al pietrelor înainte și după tratament, pentru a putea cunoaște sau estima ușurința cu care materialul pietros ar accepta tratamentul, rezultatele tratamentului și a alterării caracteristicilor relaționate cu prezența mișcării apei.

Caracteristicile intrinseci ale pietrei, înainte și după tratament, și relația acestora cu mecanismele și formele de degradare prin cristalizarea de săruri este o altă direcție în care se pot îndrepta viitoare direcții de cercetare. Aceasta poate fi

concretizată prin studii sistematice de cristalizare a sărurilor ce permit cunoașterea și explicarea mecanismelor de degradare a pietrelor consolidate, în special cele ce relaționează cu caracteristicile intrinseci (porometria, permeabilitatea, evaporarea – uscarea, etc.), cu tipul de sare și condițiile de cristalizare.

Un aspect important de studiat este caracterizarea acțiunii și a rezultatelor produșilor de tratament pe baza de poliuretani concretizat într-un studiu detaliat al acțiunii, al condițiilor de aplicabilitate a tratamentelor pe bază poliuretani ce sunt prezentați în literatura de specialitate ca promițători. Tot aici s-ar încadra și studiul unor tratamente de consolidare ce se bazează pe silicați de etil modificați și pe pre-tratamentul pietrelor carbonatate cu elemente organice reactive.

Studiul sistematic al influenței procedurilor de aplicare și tratament a produșilor în acțiunea sa și rezultate constituie un alt punct de interes. Cunoașterea influenței procedurilor adoptate în tratamente în acțiunea produșilor și a rezultatelor sale, cu obiectivul de a crește rezultatele unor produși, în special acei consolidanți de tip acrilic și epoxidic, prin adoptarea unor proceduri specifice tratamentului.

- [2] Aires-Barros Luis – As rochas dos monumentos portugueses – Tipologias e patologias, volumul I și II, Institutul Portughez al Patrimoniului Arhitectonic (IPPAR), Lisabona, aprilie 2001
- [3] Appleton João – Reabilitação de Edifícios Antigos – Patologias e tecnologias de intervenção, editura Orion, ediția 1, Lisabona, septembrie 2003
- [5] Ashurst J. – The cleaning and treatment of limestone by the lime method. În *Conservation of Building and Decorative Stone*, ed. J. Ashurst și F.G. Dimes, vol. 2, 169 – 76, Butterworth – Heinemann Series în *Conservation and Museology*. Londra și Boston: Butterworth – Heinemann, 1998.
- [7] Balcu Mircea – Comportarea inelastică a betonului, rocilor, materialelor geotehnice, Editura MatrixRom, București, 2004
- [10] Bourgès A. – *Holistic correlation of physical and mechanical properties of selected natural stones for assessing durability and weathering in the natural environment*, teză de doctorat, Universitatea din München, 2006; http://edoc.ub.uni-muenchen.de/5505/1/Bourges_Ann.pdf
- [11] Claudio Modena, P.B. Lourenço, P. Roca - *Structural analysis of historical constructions – possibilities of numerical and experimental techniques*, Editura Taylor & Francis, 2005
- [12] Córias Vítor – *Reabilitação Estrutural de Edifícios Antigos*, ediția a doua, editura ARGUMENTUM – GECORPA, mai 2007
- [13] Comisia CIB WO23 – coordonator comisie: S. Pompeu Santos – *Guide for the structural Rehabilitation of Heritage Buildings*, CIB Publications 335, Lisabona, iunie 2010
- [19] Crișan Rodica – *Zidăriile tradiționale. Caracteristici și procese de degradare specifice*, Editura Universitară “Ion Mincu”, București, 1996
- [22] Doehe, E., Price, C. A. – *Stone Conservation: An Overview of Current Research*, (2nd edition), The Getty Conservation Institute: Los Angeles, 2010.
- [24] Ferreira Pinto, A. P. – *Conservação de pedras graníticas. Estudo da acção de hidrófugos*, Informação Técnica de Geotecnia (ITG 22), LNEC, 1994.
- [25] Ferreira Pinto, A. P. – *Conservação de Pedras Carbonatadas. Estudo e Selecção de Tratamentos*, teză de doctorat, Universidade Técnica de Lisboa, Mai 2002.
- [26] Frossel Frank – *Uscarea zidărilor și asanarea subsolurilor*, București, Editura Tehnică, 2005
- [28] Grămescu Ana Maria, Barbu Daniela A.M. – *Repararea și consolidarea construcțiilor*, editura Agir, București, 2008
- [31] Hanse E., Doehe E., Fidler J., Larson J., Martin B., Matteini M., Rodríguez – Navarro C., Sebastián Pardo E., Price C., de Tagle A., J. – M. Teutonico și N. R. Weiss – *A review of selected inorganic consolidants and protective treatments for porous calcareous materials – Reviews in Conservation* 4: 13 – 25, 2003.
- [32] Henriques, F. M. A., Delgado Rodrigues, J., Aires-Bairros, L., Proença, N. – *Materiais Pétreos e Similares. Terminologia das formas de alteração e degradação*, ICT, Informação Técnica, Patologia e Reabilitação das Construções, ITPRC2, LNEC, 2004.
- [33] Heyman J. – *The stone skeleton*, Cambridge University Press, 1996
- [35] ICOMOS – ISCS: *Illustrated glossary on stone deterioration patterns. Glossaire illustré sur les formes d'altération de la pierre*, ICOMOS – International Scientific Committee for stone (ISCS), Monuments and Sites XV, Edition: V.Vergès-Belmin, ISBN: 978-2-918086-00-0, Marne, Franța, septembrie 2008

- [41] Lucchesi Massimiliano, Nicola Zani, Cristina Padovani, Giuseppe Pasquinelli - *Masonry constructions: mechanical models and numerical applications*, Editura Springer, 2008
- [42] Marques, M., Delgado Rodrigues, J. - *Estudo de consolidantes em tufos vulcânicos*, LNEC DMC/SCPN, 2002.
- [43] Mateus Mascarenhas João - *Técnicas tradicionais de construção de alvenarias*, editura Livros Horizonte, Lisabona, noiembrie 2002.
- [44] Mihăilescu N. Șt., Grigore I. - *Resurse minerale pentru materiale de construcții în România - ghid practic*, Editura Tehnică, București, 1981
- [45] Popoiu Paula - *Antropologia habitatului în Dobrogea. Om-natură-cultură*, Editura Oscar Print, București, 2001
- [46] Poul Beckmann, Robert Bowless - *Structural aspects of building conservation*, Ediția a 2-a, Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004
- [47] Svahn H. - *Non-Destructive Field Tests in Stone Conservation: Field and Laboratory Tests: Final Report for the Research and Development Project*. Raport 2006:4. Stockholm, 2006; <http://www.raa.se/publicerat/9172094354.pdf>

ARTICOLE

- [60] Appolonia L., Fassina V., Matteoli U., Mecchi A.M., Nugari M.P., Pinna D., Peruzzi R., Salvadori O., Santamaria A., Scala A., Tiano P. - "Methodology for the evaluation of protective products for stone materials. Part II: Experimental tests on treated samples". Preprints of *International Colloquium on Methods of Evaluation Products for the Conservation of Porous Building Materials in Monuments*, ICCROM, Roma, pag. 301 – 316, 1995.
- [62] Ascaso C., Wierzechos J., Souza-Egipsy V., de los Rios A., Delgado Rodrigues J. - „In situ evaluation of the biodeteriorating action of microorganisms and the effects of biocides on carbonate rock of the Jeronimos Monastery (Lisbon)”, *International Biodeterioration and Biodegradation* 49 (2002), pag. 1 – 12
- [66] Daniele V., G. Taglieri - „Nanolime suspensions applied on natural lithotypes: The influence of concentration and residual water content on carbonatation process and on treatment effectiveness”, *Journal of Cultural Heritage* 11(1): 102 – 6, 2010.
- [67] Degl’Innocenti Silvia, Lucchesi Massimiliano, Padovani Cristina, Pagni Andrea, Pasquinelli Giuseppe, Zani Nicola - “The finite element code COMES-NOSA for the structural analysis of ancient masonry constructions”, februarie 2008
- [68] Delgado Rodrigues J. - „Evaluación del comportamiento expansivo de las rocas y su interés en conservación = Swelling behaviour of stones and its interest in conservacion” An appraisal *Materiales de construccion* 2001 (263 – 64): 183 – 95, 2001.
- [69] Delgado Rodrigues José - „Conservation of stone monuments. From diagnostic to practice”, *International Meeting on Mediterranean Architectural Heritage*, Meknès, septembrie 2005
- [70] Delgado Rodrigues José - „Consolidation of decayed stones. A delicate problem with few practical solutions”, *Historical Constructions*, Ed. P.B. Lourenço, P. Roca, Guimarães, 2001
- [71] Delgado Rodrigues José, Ferreira Pinto Ana Paula, Rodrigues da Costa Dória - “Tracing of decay profiles and evaluation of stone treatments by means of microdrilling techniques”, *Journal of Cultural Heritage* 3 (2002), pag. 117 – 125
- [72] **Drăgoi Mihaela**, Bucur Dan Pericleanu - “Studies and research on physical and mechanical parameters of building stone used in fortresses in Dobrogea. Case study: Histria fortress” publicat în *Analele Universității „Ovidius” Constanța*, anul XV – Nr.15, seria: Construcții, ISSN 1584-5990, Ovidius University Press, pag. 93-100, 2013;
- [76] Ferreira Pinto A.P., Delgado Rodrigues J. - “A hidrofugação como protecção da pedra. Aspectos relacionados com a eficácia e a sua avaliação”. Actas do Encontro Nacional da

Construcție, „Construcție 2001. Por una construcción sustentável”, Colprinter – industria grafică Lda, vol.2, pg. 815 - 822, 2001.

[77] Ferreira Pinto A.P., Delgado Rodrigues J. – “Assessment of durability of water repellents by means of exposure tests”. *Proceedings of the 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, Elsevier, Venice, vol.2, pg. 273 - 285, 2000.

[78] Ferreira Pinto Ana Paula, Delgado Rodrigues José – „Assessment of durability of water repellents by means of exposure tests”, *9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, Venice, 19 – 24 iunie 2000, pag. 273 – 285

[79] Ferreira Pinto Ana Paula, Delgado Rodrigues José – „Consolidation of carbonate stones: Influence of treatment procedures on the strengthening action of consolidants”, *Journal of Cultural Heritage* 2011, doi:10.1016/j.culher.2011.07.003

[80] Ferreira Pinto Ana Paula, Delgado Rodrigues José – „Stone consolidation: The role of treatment procedures”, *Journal of Cultural Heritage* 9 (2008), pag. 38 – 53

[82] G. del Piero – “Constitutive equation and compatibility of the external loads for linear – elastic masonry-like materials”, *Meccanica* 24 (1989), pag 150 – 162

Georgescu Emil Sever – “Compatibilitatea și reversibilitatea intervențiilor structurale la construcțiile monumente istorice în zone seismice”, București, *Tribuna Construcțiilor* nr. 215 – 222, 2003

[86] Grănescu Ana Maria, Gelmambet Sunai, **Drăgoi Mihaela** – “Contributions to the mechanical behavior of natural stone masonry of Muslim places of worship belonging to the Dobroudja area” – IWAN Center for Arhitectural Heritage, Faculty of Engineering, Islamic University of Gaza-Palestine 19-20 aprilie 2010, www.iugaza.edu.ps/icac2; *2nd international conference on architectural conservation – networking for partnership between Europe and Islamic world*.

[87] Grănescu Ana Maria, Gelmambet Sunai, **Drăgoi Mihaela**, Pericleanu Dan – “Determination of mechanical properties of natural stone and brick masonry elements in heritage buildings” – *International Symposium on Nondestructive Testing of Materials and Structures, Istanbul Technical University*, Istanbul, Turkey, 15-18 Mai 2011, revistă cotate ISI, editura Springer, februarie 2012.

[88] Grănescu Ana Maria, Mitroi Amedeo, **Drăgoi Mihaela**, Pericleanu Dan – “Influence of environmental factors on mechanical resistance on natural stone buildings and their cuantification in technical expertise” publicat în *Journal of Enviromental Protection and Ecology* ISSN 1311-50-65- 2010 Grecia, www.jepe.gr

[89] Grănescu Ana Maria, **Drăgoi Mihaela**, Pericleanu Bucur Dan - „Contributions to the influence of moisture on the natural stone resistance structure of the patrimony buildings”, conferința WATER 2010, publicat în *Analele Universității „Ovidius” Constanța*, anul XII, seria: Construcții, ISSN 1584-5990, Ovidius University Press, pag. 489-496, 2010;

[90] Grănescu Ana Maria, Gelmambet Sunai, **Drăgoi Mihaela**, Pericleanu Bucur Dan, “Studii și cercetări privind rezistențele mecanice ale zidărilor”, *Raport de cercetare nr.2/2010*, Centrul de cercetare în Inginerie civilă, Departamentul de Inginerie civilă, Facultatea de Construcții, Universitatea „Ovidius” Constanță, 2010;

[91] Grănescu Ana Maria, Mitroi Amedeo, **Drăgoi Mihaela**, Pericleanu Bucur Dan – “Influence of environmental factors on mechanical resistance on natural stone buildings and quantification în technical expertise” publicat în *Journal of Enviromental Protection and Ecological* ISSN 1311-50-65- 2010 Grecia – revistă cotate ISI, 2010;

[92] Grănescu Ana Maria, Pericleanu Bucur Dan, **Drăgoi Mihaela** - „Comportarea mecanică a planșeelor realizate din bolți. Soluții de reabilitare”, *Raport de cercetare nr.1/2009*, Centrul de cercetare în Inginerie civilă, Departamentul de Inginerie civilă, Facultatea de Construcții, Universitatea „Ovidius” Constanță, 2009;

[93] Grănescu Ana Maria, Popa Mirela, Pericleanu Bucur Dan, **Drăgoi Mihaela**, “Soluții de modelare și calcul a bolților cilindrice realizate din zidărie”, *Raport de cercetare*

- nr.1/2010, Centrul de cercetare în Inginerie civilă, Departamentul de Inginerie civilă, Facultatea de Construcții, Universitatea „Ovidius” Constanța, 2010;
- [101] Jiménez – Lopez C., C. Rodríguez – Navarro, G. Piñar, F.J. Carrillo – Rosúa, M. Rodríguez – Gallego și M. T. González – Muñoz – „Consolidation of degraded ornamental porous limestone stone by calcium carbonate precipitation induced by the microbiota inhabiting the stone”, *Chemosphere* 68 (10):1929 – 36, 2007
- [102] Jiménez – Lopez C., F. Jroundi, C. Pascolini, C. Rodríguez – Navarro, G. Piñar – Larrubia, M. Rodríguez – Gallego și M. T. González – Muñoz – „Consolidation of quarry calcarenite by calcium carbonate precipitation induced by bacteria activated among the microbiota inhabiting the stone”, *International Biodeterioration and Biodegradation* 62 (4): 352 – 63, 2008
- [111] Nuhoglu Y., Oguz E., Uslu H., Ozbek A., Ipekoglu B., Ocak I., Hasenekoglu I. – “The acceleration effects of the microorganism on biodeterioration of stone monuments under air pollution and continental-cold climatic conditions in Erzurum, Turkey”, *Science of the Total Environment* 364 (2006), pag. 272 – 283
- [112] Pericleanu Bucur Dan, **Mihaela Drăgoi** – “Water – a key factor în heritage buildings chromatics” publicat în *Analele Universității „Ovidius” Constanța*, anul XIV – Nr.14, seria: Construcții, ISSN 1584-5990, Ovidius University Press, pag. 95-100, 2012 în cadrul conferinței internaționale WATER 2012;
- [113] Pericleanu Bucur Dan, **Mihaela Drăgoi** – “Accessibility of water în heritage buildings materials” publicat în *Analele Universității „Ovidius” Constanța*, anul XIV – Nr.14, seria: Construcții, ISSN 1584-5990, Ovidius University Press, pag. 89-94, 2012 în cadrul conferinței internaționale WATER 2012;
- [114] Pericleanu Bucur Dan, **Mihaela Drăgoi** – “Contributions on realization techniques for vaulted floor decks” publicat în *Analele Universității „Ovidius” Constanța*, anul XV – Nr.15, seria: Construcții, ISSN 1584-5990, Ovidius University Press, pag. 39-44, 2013;
- [118] Rozenbaum Olivier, Barbanson Luc, Muller Fabrice, Bruand Ary – “Significance of a combined approach for replacement stones in heritage buildings’ conservation frame”, *Geomaterials*, Comptes Rendus Geoscience 340 (2008), pag. 345 – 355
- [120] Sasse H.R. – „Engineering aspects of monumental preservation”, *International Journal for Restoration of Buildings and Monuments*, AEDIFICATIO Verlag GmbH., vol.7, nr.2, pg. 197 – 216, 2001
- [125] Tiano P. – „Innovative treatments for stone conservation”. *Corrosion Reviews* 22 (5-6): 365 – 80, 2004
- [126] Tiano P. – „Stone reinforcement by calcite crystals precipitation induced by organic matrix macromolecules”. *Studies in Conservation* 40 (3): 171 – 76, 1995
- [127] Tiano P., L. Addadi, S. Weiner – „Stone reinforcement by induction of calcite crystals using organic matrix macromolecules: Feasibility study”. În *Proceedings of the 7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, Lisbon, 15 – 18 iunie 1992, ed. J. Delgado Rodrigues, F. Henriques și F. Telmo Jeremias, 1317 – 26. Lisbon: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1992
- [128] Tourenq C., Fourmaintraux D. – “L’indice de qualité des roches, quelques applications”, *Proceedings 2nd International Congress of the International Association of Engineering Geology*. São Paulo, Brazilia, 1974, vol. I, IV – 20, 1974
- [130] Wilson M.A., Carter M.A., Hoff W.D. – „British Standard and RILEM water absorption tests: Acritical evaluation”, *Materials and Structures*, vol. 32, octombrie 1999, pag. 571 – 578

CARTE, STANDARDE, LEGISLAȚIE

- [132] AFNOR, NF B10-502 – Mesure de l’absorption d’eau par capillarité. Produits carrières. Pierres calcaires. Association Française De Normalization, 1980

- [133] ASTM E308 – “Standard test method for computing the colours of objects by using the CIE system”, 1990, 1999, 2001, 2006, 2008, **2012/ 2013**
- [134] Carta de la Atena - The Athens Charter - International Council on Monuments and Sites, 1st Congress of Architects and Technicians of Historic Monuments, Atena, 1931, ICOMOS, www.international.icomos.org/charters/charters.pdf
- [138] Carta Internațională de la Veneția pentru conservarea și restaurarea monumentelor și siturilor - International charter for the conservation and restoration of monuments and sites (1964) 2nd Congress of Architects and Technicians of Historic Monuments, Venice, May 25th – 31st, ICOMOS, www.international.icomos.org/charters/venice_e.pdf
- [147] Consiliul Internațional al Monumentelor și siturilor, ICOMOS / Comitet științific Internațional pentru analiză și restaurarea structurilor. Patrimoniul Arhitectural, ISCARSAH, “Recomandări privind analiza, conservarea și restaurarea structurală a patrimoniului arhitectural” septembrie 2001
- [148] Convenția de la Granada - Granada Convention - The Europe Council, 3 Octombrie 1985, <http://conventions.coe.int/Treaty/en/Treaties/Html/121.htm>
- [150] Convenția privind protecția patrimoniului cultural și natural mondial – Convention concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage – UNESCO, Conference of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization meeting in Paris from 17 October to 21 November 1972, a 17-a sesiune, <http://whc.unesco.org/en/conventiontext/>
- [160] Legea 157 / 7.10.1997 Legea privind ratificarea Convenției pentru protecția patrimoniului arhitectural al Europei, adoptată la Granada la 3 octombrie 1985; publicată în Monitorul Oficial Nr. 274 din 13 octombrie 1997
- [162] Legea 564 / 19.10.2001 Legea pentru aprobarea Ordonanței Guvernului nr. 47/2000 privind stabilirea unor măsuri de protecție a monumentelor istorice care fac parte din Lista patrimoniului mondial; publicată în Monitorul Oficial Nr. 695 din 1 noiembrie 2001
- [164] Legea 422 / 18.07.2001 Legea privind protejarea monumentelor istorice; republicată în Monitorul Oficial nr. 938 din 20 noiembrie 2006
- [165] Lista monumentelor istorice din România revizuită în anul 2010, apărută în Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 670 bis, 1.10.2010
- [166] NORMAL – 29/88, 1991 – Misura dell’indice di asciugamento (drying index). <http://www.tine.it/normal/normal.htm#1.4> – recomandări NORMAL
- [167] NORMAL 11/85 – Assorbimento d’acqua per capillarità. Coefficiente di assorbimento capillare. CNR – ICR, Roma, 1985
- [178] P100-3/2008 – “Cod de evaluare și proiectare a lucrărilor de consolidare la clădiri existente, vulnerabile seismic”
- [179] Pr EN 1926, octombrie 1998 – *Natural stone test methods – Determination of compressive strength*
- [180] Pr EN 1936, mai 1995 – *Méthodes d’essai pour éléments en pierre naturelle – Détermination des masses volumiques réelle et apparent et des porosités ouverte et totale.*
- [184] Reunion International des Laboratoires d’Essais et de Recherche sur les Matériaux et les Construction (RILEM) – Comisia 25 – P.E.M. – Protection et érosion des monuments (1980) – “*Essais recommandés pour mesurer l’alteration des pierres et évaluer l’efficacité de traitement*”, Matériaux et Construction, vol.13, N^o. 75
- [185] Reunion International des Laboratoires d’Essais et de Recherche sur les Matériaux et les Construction (RILEM) – Comisia 59 – T.P.M. – Traitement et protection des matériaux pierreux (1985) – “*Traitements d’hydrofugation*”, Centre Scientifique et Technique de la Construction, Documente de travail, februarie 1985
- [186] RILEM 58 V.T.P. – E. de Castro – Détermination de l’angle de contact eau – pierre. Groupe de travail RILEM, 58 V.T.P. – Traitement et Vieillissement des Pierres, Doc. V.T.P. 80-4, 1980

INTERNET

[204] www.accustandard.com/biocide-standards

[205] www.biu.pt , AGUASIL 100 – BIU Internacional Lda., accesat în iunie 2012

[208] www.iccrom.org – International center for the study of the Preservation and Restoration of Cultural Property

[209] www.icomos.org, www.icomos.ro, International Council of Monuments and Sites accesat in iunie 2012 - 2014

[211] www.sintechology.com, manual versiunea 3.03, DRMS Cordless2006, Italia, accesat iunie 2012

[213] www.stonedatabase.com – Natural Stone Database online information for the stone-built heritage of Northern Ireland, accesat iunie 2009

CURSURI

[214] Branco Fernando – prelegere „Projectos de reabilitação”, curs formare profesională „Tehnici de reabilitare a construcțiilor” ianuarie 2012, organizat de FUNDEC – Asociația pentru formare și dezvoltare în Inginerie Civilă și Arhitectură Lisabona, Portugalia, certificat de participare nr. 51 / 3.02.2012

[215] Brito, J. De – prelegere curs formare profesională „Inspection and maintainance plans for buildings” iunie 2012, organizat de FUNDEC – Asociația pentru formare și dezvoltare în Inginerie Civilă și Arhitectură Lisabona, Portugalia, certificat de participare nr. 421 / 26.06.2012

[216] Croci G., J. Delgado Rodrigues – „Surface and structural stability for the conservation of historic buildings” In Science and Technology of the Environment for Sustainable Protection of Cultural Heritage: EC Advanced Study Course. London: University College London, 2002;
http://www.ucl.ac.uk/sustainableheritage/Archive_0906/sustainableheritage/sustainableheritage/learning/asc/delegates/coursematerials.html

[217] Ferreira Pinto A.P. – prelegere „Tratamento de materiais pétreos”, curs formare profesională „Tehnici de reabilitare a construcțiilor” ianuarie 2012, organizat de FUNDEC – Asociația pentru formare și dezvoltare în Inginerie Civilă și Arhitectură Lisabona, Portugalia, certificat de participare nr. 51 / 3.02.2012

[218] Gomes Ferreira J. – prelegere „Reabilitação de edificios de alvenaria resistente”, curs formare profesională „Tehnici de reabilitare a construcțiilor” ianuarie 2012, organizat de FUNDEC – Asociația pentru formare și dezvoltare în Inginerie Civilă și Arhitectură Lisabona, Portugalia, certificat de participare nr. 51 / 3.02.2012

[219] Grămescu Ana Maria – Proiecte reabilitare monument istoric – studii de caz

[221] Stamate Gheorghe – curs de perfecționare „Încercări nedistructive în construcții”, Centrul de Inovare, consultanță și transfer tehnologic CITCON NOVA București, INCERC ICECON, certificat nr. 292/16.03.2009

