

Implicațiile economiei circulare în protecția patrimoniului cultural din orașele inteligente

Rodica-Mariana ION,

Institutul National de Cercetare-Dezvoltare pentru Chimie si Petrochimie – ICECHIM, Grupul de Cercetare “Evaluarea si Conservarea Patrimoniului Cultural”, Bucuresti, Romania / Școala Doctorală de Ingineria Materialelor, Universitatea “Valahia”, Târgoviște, România;
rodica_ion2000@yahoo.co.uk, rodica.ion@valahia.ro

Abstract

În această lucrare sunt abordate următoarele obiective: (I) identificarea factorilor de mediu interior și exterior din unele monumente, precum și degradarea acestora, (II) modalități și soluții practice de recuperare și reciclare a materialelor de construcție de la demolări, (III) utilizarea materialelor de la demolări la mortare pentru lucrări de restaurare a clădirilor de patrimoniu. Studii de caz. Clădirile de patrimoniu cultural ocupă o nișă unică în peisajul urban, iar protecția și conservarea acestora este o chestiune de interes deosebit pentru un oraș inteligent. Microclimatul și poluanții prezenti (turiști, lămpi cu ulei, lumânări, poluarea urbană) contribuie la degradarea clădirilor. În acest context, conceptul de economie circulară încurajează restaurarea și reutilizarea monumentelor de patrimoniu cultural, care reprezintă o resursă valoroasă în dezvoltarea ofertei turistice și promovarea unui oraș inteligent. Prezenta lucrare se bazează pe expertiza autoarei în domeniul conservării și restaurării de stucaturi, decorațiuni de fațadă sau substraturi de piatră, identificarea poluanților, precum și a mecanismelor de degradare și conservare ale unor importante monumente românești din patrimoniul arhitectural. Lucrarea are la bază și expertiza autoarei în domeniul Arheometriei și Restaurării și Regenerării Patrimoniale, cu implicații în Studiul Materialelor pentru Arhitectură. Lucrarea va prezenta identificarea factorilor de mediu interior și exterior din unele monumente precum SO_x, NO_x, cloruri, pH, RH, T, în monumente precum: Castelul Corvinilor, Hunedoara, Mozaicul Roman, Constanta, Bisericutele Basarabi-Murfatlar, Monumentul Adamclisi, Constanta, și modalități de recuperare și reciclare a materialelor de construcție de la demolări: ceramică (cărămidă, marmură), deșeuri din plastic (poliuretan) și deșeuri de lemn (ex. rumeguș). Soluțiile prezentate vor aborda provocările prezente pentru reutilizarea deșeurilor din construcții și demolări, promovarea oportunităților de afaceri locale pentru tranziția către o economie circulară și dezvoltarea unui oraș inteligent. Lucrarea are un înalt nivel de originalitate și va prezenta exemple de materiale și tehnologii ecologice pentru conservarea/consolidarea clădirilor cu materiale-deșeu rezultate din construcții și demolări.

Cuvinte cheie: economie circulară, poluanți, patrimoniu cultural, reciclarea deșeurilor, oraș inteligent.

1. Introducere

1.1. Aspecte generale. Definiții și legislație

Conform Cartei albe Europeana privind orașele inteligente, “patrimoniul cultural definește identitatea comunităților noastre, contribuie la coeziunea socială și sporește inovarea și turismul (Europeana 2015)” [1, 2, 3]. În același context, “Agenda 2030 pentru dezvoltare durabilă a Adunării Generale a Organizației Națiunilor Unite”, aprobat din 2015 de țările membre ale ONU, a promovat modelul “Orașe durabile”, ce presupune până în 2030 reducerea impactului negativ al mediului asupra orașelor, acordând o atenție deosebită gestionării și reciclării deșeurilor generate [4, 5, 6, 7]. Orașele durabile și inteligente presupun prin inovare tehnologică, înlocuirea unei «economii liniare» cu o «economie circulară», în care deșeurile sunt încorporate în procesele de producție a produse și/sau materiale noi (în vederea atingerii obiectivului “zero deșeuri”) [8].

În fiecare oraș, deșeurile din construcții și demolări (DCD) reprezintă o problemă gravă de poluare a mediului, din cauza gestionării lor inadecvate și a ratelor scăzute de reciclare sau

utilizare. La nivel global, 25-30% din totalul deșeurilor solide la nivel mondial, echivalente la 3 trilioane de tone pe an sunt rezultate din deseuri provenite din industria construcțiilor. Anual, la nivel european, aproximativ 750 de milioane sunt generate tone de deșeuri C&D, reprezentând aproximativ 32,6% din totalul deșeurilor au rezultat din: gospodării și industrie [9].

Fără îndoială, cantitățile masive de deseuri rezultate din activitățile umane, implică un management decizional într-un oras inteligent. Iar noile concepte de economie liniară, de reciclare și circulară concurează la strategia și managementul decizional al acestor orașe.

În zilele noastre, multe orașe din întreaga lume se confruntă cu clădiri de patrimoniu abandonate. Aceste clădiri se află în principal în zonele urbane centrale și sunt într-o continuă degradare ca urmare a acțiunii mai multor factori externi. Regenerarea și reabilitarea acestor clădiri nu este întotdeauna un punct de interes, deoarece implică costuri mari. Deoarece asigură continuitatea unor tradiții și a unor valori comune, clădirile de patrimoniu au devenit o resursă importantă în regenerarea și evoluția urbană. Salvarea clădirilor de patrimoniu industrial aduce beneficii atât culturale, sociale, cât și ecologice, deoarece evitarea demolării le permite salvarea resurselor și energiei, precum și evitarea poluării.

Obiectivul acestei lucrări constă în:

- studierea stării de conservare și degradare chimico-fizică a clădirilor istorice, evaluarea condițiilor de mediu, know-how-ul istoric diferit (maniera) și/sau restaurarea anterioară;
- reconsiderarea digitală a monumentelor sau clădirilor istorice;
- furnizarea de indicații privind proprietățile materialelor deșeu rezultate din construcții și demolări, crearea și utilizarea unor compoziții noi de materiale agregate reciclate, compatibilitatea și disponibilitatea pentru intervențiile de întreținere și restaurare;
- stabilirea unor proceduri corecte de investigare și intervenție care să fie bazate pe soluții cu relevanță istorică, artistică și documentară, să utilizeze competențele interdisciplinare ale unor laboratoare capabile să ofere răspunsuri tehnice și științifice la problemele complexe de restaurare și conservare a suprafețelor monumentelor.

1.2. Clasificare

În ceea ce privește DCD-urile, acestea pot fi clasificate în două categorii: deșeuri utilizabile și neutilizabile. Dacă deseurile neutilizabile sunt cele contaminate cu deseuri periculoase, ce impun reglementări specifice de mediu, în categoria de deșeuri utilizabile intra beton, ceramică, cărămizi din argilă, zidărie, și deșeuri de mortar, sticlă, polietilen tereftalat (PET), poliuretan provenit de la aparatele electrocasnice, anvelope, deșeuri de beton, deșeuri agricole, nor de silice, cenușă zburătoare etc., pot fi utilizate în producția de beton pentru a reduce eliminarea unor volume mari de DCD prin înlocuirea agregatelor [9] utilizate la agregate fine și grosiere. DCD sunt clasificate de la A la D conform standardului brazilian NBR 15113 [10] după cum urmează:

- Clasa A: mortar, beton și componente ceramice (de exemplu, cărămizi, blocuri, țigle, și acoperiri);
- Clasa B: materiale plastice, hârtie, carton, metale, sticlă și lemn;
- Clasa C: reziduuri pe bază de ipsos;
- Clasa D: deșeuri periculoase, cum ar fi azbestul, gudroanele și vopselele, metalele grele (crom, plumb, mercur), lacurile, vopselele, adezivii, policlorură de vinil, solvenți, compuși bifenili policlorurați, diverse tipuri de rășini utilizate pentru conservare, ignifugare, impermeabilizare etc.
- În același context, adoptarea economiei circulare a apărut ca o strategie promițătoare de reducere a impactului negativ asupra mediului al DCD [11].

2. Deșeurile provenite din activități de construcție și demolări în cadrul economiei circulare

2.1. Circularitatea materialelor de construcție

Principalul contribuitor la economia circulară din sectorul construcțiilor este recuperarea, reutilizarea și reciclarea CDW. Recuperarea, reutilizarea și reciclarea DCD sunt componentele esențiale ale economiei circulare în sectorul construcțiilor.

Economia liniară presupune următoarele etape: producere, sortare, folosire, aruncare.

Economia de reciclare presupune: producere, sortare, folosire (cu reciclare) și apoi aruncare

Economia circulară presupune asamblarea ambelor tipuri de economie de mai sus, după cum urmează: producere, sortare, folosire prin reciclare și/sau returnare, re folosire, reutilizare.

Componentele clădirilor ar trebui selectate în funcție de potențialul lor de circularitate, urmând ierarhia celor 3R (reducere, reutilizare, reciclare) a economiei circulare [12, 13].

Deșeurile de hârtie reprezintă cel mai frecvent deșeu întâlnit în mai toate sferele de activitate și constituie o importantă sursă de fibre de celuloză. Se găsește sub forme diferite (hartie de scris, hartie de ambalaj, ziare, reviste, cataloage, deșeuri postale, cutii sau alte ambalaje din carton simplu și ondulat de la produsele cosmetice, electrocasnice, pentru bauturi, inclusive ambalajele de tip TetraPak, etc.), hârtia ocupă aproximativ 41% din totalul gunoierului menajer pe care îl producem astăzi. Prin procesul de reciclare, fiecare tonă de hartie reciclată poate salva 17 copaci, și este nevoie de un copac de 15 ani pentru a produce 700 pungi de hartie. Hartia și cartonul pot fi reciclate doar de 10 ori. Prin reciclarea hârtiei, se economisesc aproximativ 25% din cantitatea de electricitate și a 90% din cantitatea de apă (300 l) necesară pentru producerea a 1 kg de hartie albă. De asemenea, se elimină clorul toxic necesar producerii hârtiei albe.

Deșeuri de plastic: Prin reciclarea fiecărei tone de plastic reciclat se economisesc între 700 și 800 kg de petrol brut. Toxicitatea plasticului se regăsește atât în urma arderii, rezultând substanțe care produc boli de plămâni, sau din cauza cernelii utilizate în imprimarea pungilor care conține cadmiu, metal foarte toxic, eliberat în aer odată cu arderea pungilor. O singură sticlă de plastic prin reciclare conduce la economisirea energiei pentru funcționarea unui bec de 60W timp de 6 ore.

Conform celor mai recente rapoarte, în 2017, cererea de plastic în Europa în 2016 a fost de 49,9 MTn, cu 3,1% mai mare față de 2014. Din această cerere, 7,5% este poliuretan, ceea ce implică o cerere anuală de 3,78 MTn în 2017. Din cei 2,62 MTn de spumă poliuretanică (PU), aproximativ 27% din deșeurile sunt generate (700.400 Tn), din care, 31,1% este reciclat (220.000 Tn), 41,3% este incinerat (294.278 Tn) și restul de 27,3% este dus la groapa de gunoi (193.120 Tn). Sectoarele industriale responsabile de aceste cantități sunt: construcții și demolări (24,5%); auto (19,5%), refrigerare (21,3%) și alte sectoare (34,7%).

Se cunosc mai multe lucrări în care deșeurile de spumă poliuretanică, combinate cu lianți smoală sunt utilizate ca agregate uscate în diferite cimenturi sau matrici de gips. În mortarele de ciment, PU ca agregate reciclate asigură o durabilitate excelentă, și este capabil să reducă cantitatea de nisip din mortarele de ciment prin înlocuirea nisipului în proporție de 13-33%, 25-50 % sau chiar 25-100 % [14, 15, 16, 17, 18, 19, 20]

Deșeurile din lemn: Deșeurile de lemn reprezintă un ansamblu de produși și materiale a căror origine se regăsește în toate etapele industriei lemnului, de la exploatarea forestieră până la fabricarea produșilor finiți. Principalele surse ale deșeurilor lemnoase sunt:

- de la exploatarea forestieră: scoarță, rumeguș, lemn subțire;
- din industria de prelucrare a lemnului (debitare, tâmplărie, fabrici de mobilă, parchet): așchii, rumeguș, resturi;
- rebuturi: lemn de șantier, traverse de cale ferată, paleți, lemn de cofraj.

Deșeurile lemnoase sunt clasificate de normele europene ca fiind deșeurile banale, ne reprezentând caracter periculos sau toxic pentru mediu. La nivelul României, conform HG 856/5.10.2002 (MOF 659) deșeurile lemnoase se clasifică în funcție de proveniență:

- deșeurile din agricultură, silvicultură, vânătoare și pescuit, de la prepararea și procesarea alimentelor;
- deșeurile de la prelucrarea lemnului și producerea plăcilor și mobilei, pastei de hârtie, hârtiei și cartonului
- În funcție de starea sub care se găsesc deșeurile lemnoase pot fi:
- lemn în stare naturală – coajă, rumeguș de gater
- reziduuri de lemn – rezultate din tâmplărie, construcții, talaș de rindeluire
- lemn uzat – grinzi, ferestre, paleți lemn tratat – traverse de cale ferată, PVC

Deșeurile din lemn se clasifică astfel în 3 tipuri de deșeurile:

- Deșeurile ne-impregnate: precum deșeurile generate de prelucrarea lemnului: praf, rumeguș, talaș: (61% din total generat)
- Deșeurile slab impregnate: au fost tratate cu produse ne-periculoase sănătății precum grinzi de lemn, mobilier masiv, deșeurile de PAL și de PAF. Aceste deșeurile pot fi folosite pentru combustie: (28%)
- Deșeurile foarte impregnate: stâlpi telefonici tratați cu creozot sau cupru, talaș care a servit pentru a absorbi un produs periculos, etc. Aceste deșeurile nu pot fi folosite pentru combustie și merg la groapa de gunoi sau un alt centru specializat: (11%) [21]

Deșeurile de sticlă: Sticla are nevoie de 1 milion de ani pentru a se descompune în bucatele mici. Reciclarea sticlei reduce poluarea de fabricare cu 75% și poluarea aerului cu 14-20%. Reciclarea unui borcan de sticlă economisește energie suficientă pentru alimentarea unui bec de 100W timp de 4 ore. Reciclarea unei tone de sticlă economisește 1,2 tone de materii prime (soda, nisip, feldspat) și energie în proporție de 25% [22].

Sticla este 100% reciclabilă, recuperarea ei salvând un volum important de resurse energetice.

Deșeurile de marmură și ceramică pot fi, de asemenea, prelucrate în particule fine sau agregate pentru a înlocui o parte din agregatele naturale utilizate în producția de beton. Utilizarea marmurei, ceramicii și plăcilor reciclate în beton poate contribui la îmbunătățirea proprietăților mecanice (rezistența la compresiune, rezistența la încovoiere și rezistența la abraziune) și a durabilității betonului, reducând în același timp permeabilitatea și absorbția apei [23]. Utilizarea marmurei, și ceramicii reciclate în beton poate contribui la reducerea generării de deșeuri și conservarea resurselor naturale. După unele referințe [24, 25, 26, 27], densitatea betonului care conține agregate de deșeuri ceramice scade liniar pe măsură ce crește concentrația ceramică. În același timp, adâncimea de penetrare a ionilor de clor, extrem de agresivi, în beton scade odată cu creșterea conținutului de ceramică, iar rezistența electrică a betonului crește odată cu creșterea cantității de ceramică, durabilitatea betonului crescând odată cu creșterea procentului ceramic.

3. Patrimoniul cultural inteligent și Oraș inteligent

Dezvoltarea conceptului de oraș inteligent în ultimele două decenii a contribuit direct la apariția conceptului Patrimoniul Inteligent (Smart Heritage). Conceptul “inteligent” s-a distins de alte viziuni în care tehnologia informației este combinată cu infrastructura, arhitectura, activitățile de zi cu zi pentru a aborda problemele sociale, economice și de mediu [28], iar în 2018, Yigitcanlar et al. au identificat trei factori principali ai orașelor inteligente; Comunitate, politică și tehnologie [29], pentru a produce productivitate, durabilitate, accesibilitate, bunăstare, viabilitate și rezultate de guvernare. Orașul inteligent devine ca un “concept dominant” fără a exista o definiție universală acceptată a unui oraș inteligent. Definiția este diferită pentru oameni diferiți. Conceptualizarea Smart City variază de la oraș la oraș și de la țară la țară, în funcție de nivelul de dezvoltare, dorința de schimbare și reformă, resursele și aspirațiile locuitorilor orașului.

În acest context, clădirile de patrimoniu ca entități distincte în orașele inteligente sunt unice și de neînlocuit. Conservarea, restaurarea și reabilitarea clădirilor de patrimoniu reprezintă în multe țări peste 35% din producția totală în domeniul construcțiilor [30].

Conceptul de “patrimoniu cultural inteligent” implică o conexiune între utilizatorii unei platforme digitale comune, între instituție și vizitatorii săi, între obiecte/teritoriu și vizitator și între lumea reală și cea virtuală.

Patrimoniul inteligent conectează o realitate fizică la o realitate virtuală, dar oferă o gamă largă de posibilități de accesare a reprezentărilor sale.

4. Soluții digitale. Studii de caz

4.1. Cazul Bisericitelor de cretă de la Basarabi-Murfatlar

Variațiile de temperatură și prezenta apei sunt factorii cei mai agresivi care afectează acest monument, Fig. 1, și se impun unele măsuri pentru salvarea acestui monument important, iar digitalizarea virtuală ar putea fi primul pas în acest context.



Fig. 1. Bisericile de creta de la Basarabi-Murfatlar

Sursa: Fotografie personală

Aplicarea noilor tehnologii și a digitalizării monumentului Basarabi este o măsură preventivă, ajutându-ne să realizăm o reconstrucție virtuală ca model pentru păstrarea acestuia, pentru a oferi acces unui public cât mai larg. Scanarea laser, modelarea 3D, scanarea digitală și fotogrammetria sunt cele mai utilizate metode pentru digitalizarea patrimoniului cultural, în scopul de a oferi modele 3D. Prin intermediul tehnicii de scanare cu laser, pentru acest monument a fost posibil să se măsoare cantitățile topografice, direcția unei linii optice virtuale care unește unele puncte de pe suprafața monumentului la un punct de referință de pe dispozitivul de măsurare și caracteristicile morfologice asupra monumentului, care poate să fie achiziționate și măsurate cu o precizie foarte mare [31]. S-a obținut o reprezentare matematică a unei suprafețe 3D, prin intermediul programului CAD de modelare pentru a crea modelul 3D al proiecției externe a bisericii, Figura 2. Ca o alternativă, fotografiile digitale comune pot fi folosite, pentru a obține 2D sau 3D coordonatele de câteva fotografii. În cazul nostru, prin utilizarea fotogrammetrică 3D a fost obținut modelul 3D al anvelopei bisericii, care ar trebui să fie aplicat peste biserică, figurile 2 a-c. Modelul 3D creat a fost cu o precizie de 0.72-0.95%.

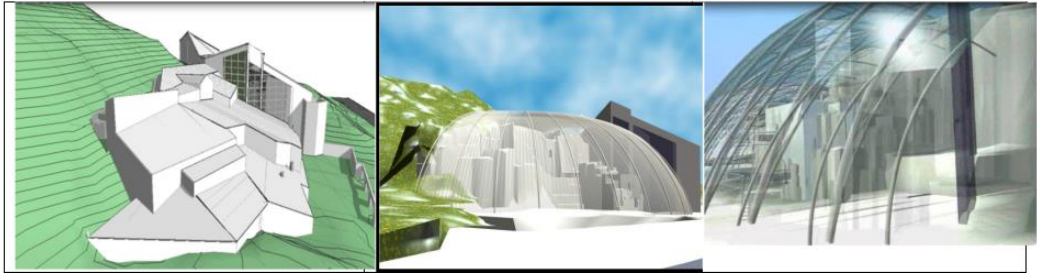


Fig. 2. (a) Protecția digitală exterioară a monumentului ; (b) Schema protecției acoperisului ; (c) Proiecția anvelopei bisericii

4.2. Studiu de caz : Monumentul triumfal Adamclisi

Un prim factor ce afectează sustenabilitatea clădirilor de patrimoniu într-un oraș inteligent îl reprezintă deteriorarea suprafețelor clădirilor de patrimoniu datorită poluării aerului cu efecte asupra fațadelor din calcar sau marmură, murdărirea suprafeței de piatră, murdărirea sticlei, deteriorarea vitraliilor medievale, coroziunea metalică și acumularea de biomasă în mediul urban. Motoarele cu ardere internă contribuie din plin la poluarea din interiorul marilor orașe, prin concentrații mari de dioxid de sulf, dioxidul de carbon (CO_2), ozon (O_3). Depunerea poluanților pe suprafețe depinde de concentrațiile atmosferice ale poluanților și de climatul și microclimatul din jurul acestora.

Și aici vom exemplifica prin stadiul poluării în monumentele din România, cu referire la monumentul triumfal de la Adamclisi, măsurători ce s-au efectuat în cursul unui proiect de cercetare derulat în anii 2018-2020 [32].



Fig. 3. Monumentul triumfal Adamclisi
Sursă: foto personal

Concentrațiile de poluanți dioxid de sulf (SO_2), oxizi de azot (NO_x), monoxid de azot (NO), monoxid de carbon (CO), ozon (O_3) și concentrația de pulberi (PM_{10}) măsurate cu senzori specializați, sunt prezentate în Fig. 4. Acestea variază în funcție de anotimp, fiind mai intense în sezonul rece, când traficul în zona se presupune că este mult redus, iar activitățile umane în zona sunt mult diminuate.

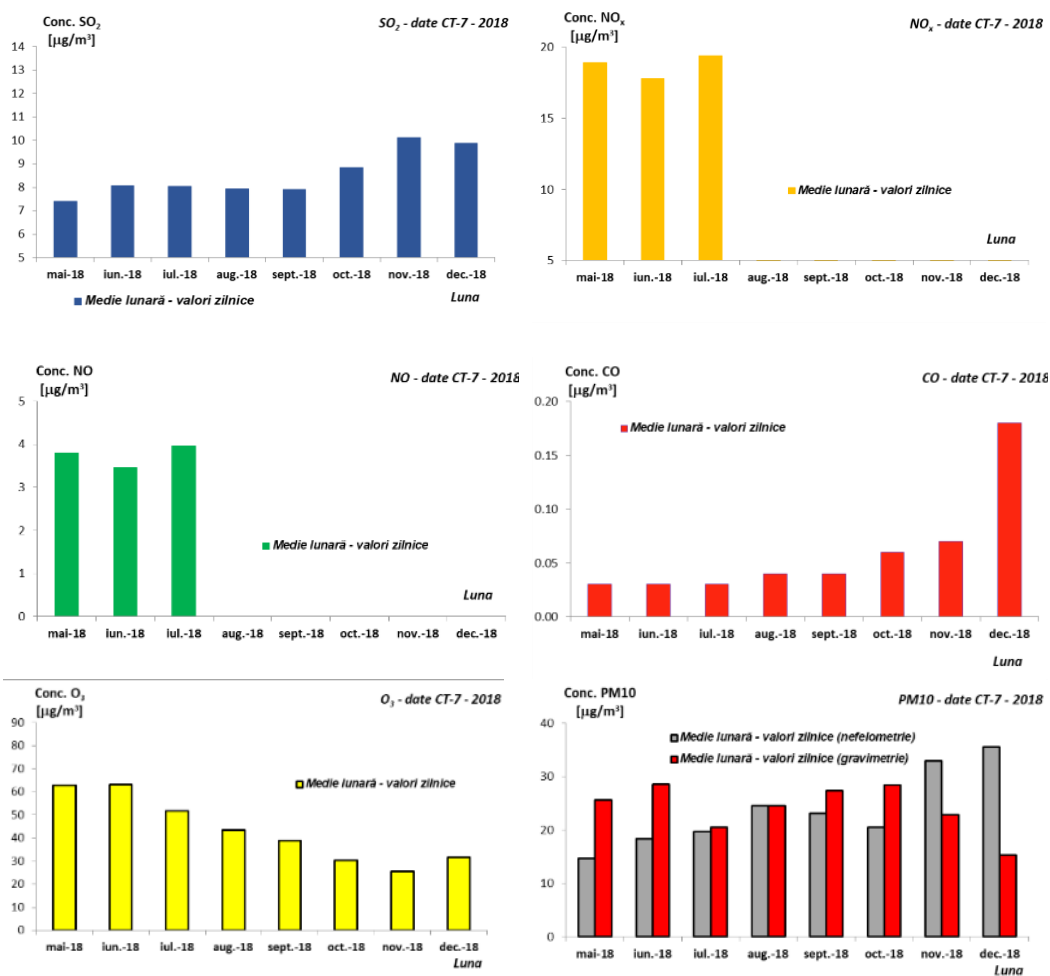


Fig. 4. Nivelul poluanților gazeși SO₂, NO_x, NO, CO, O₃, PM10 în arealul monumentului de la Adamclisi

4.3. Mozaicul Roman

O altă categorie de factori este constituită de degradarea suprafețelor clădirilor, provocată de procese fizice, precum: cristalizarea sărurilor în ziduri poroase (piatră, cărămidă, tencuială, fresce, picturi murale), deteriorarea prin cicluri îngheț-dezgheț în materiale poroase, creșterea nivelului mării, umflarea – contracția mineralelor argiloase din soluri care afectează stabilitatea fundațiilor de monumente, acumularea de biomasă (licheni, alge, mușchi, fungi) strâns legată de ploaie și temperatură, depinzând doar de parametri climatici. Fenomenul de degradare are loc într-o manieră graduală și se manifestă diferit în funcție de materialele folosite la construcție. Prin utilizarea unor echipamente performante pH-metre, microscopae digitale cu softuri de prelucrare imagini, s-a măsurat valorile pH, sărurile, umiditatea, și conținutul de carbon organic provocat de pulberile de cenuri rezultate de la motoarele cu ardere internă, Fig. 5. Aceste date au fost măsurate și comparate pentru toate monumentele din același areal: Mozaicul Roman, Cavoul Hipogeu și Monumentul Adamclisi, Fig. 6.



Fig. 5. Mozaicul Roman, Constanta
Sursă: foto personal

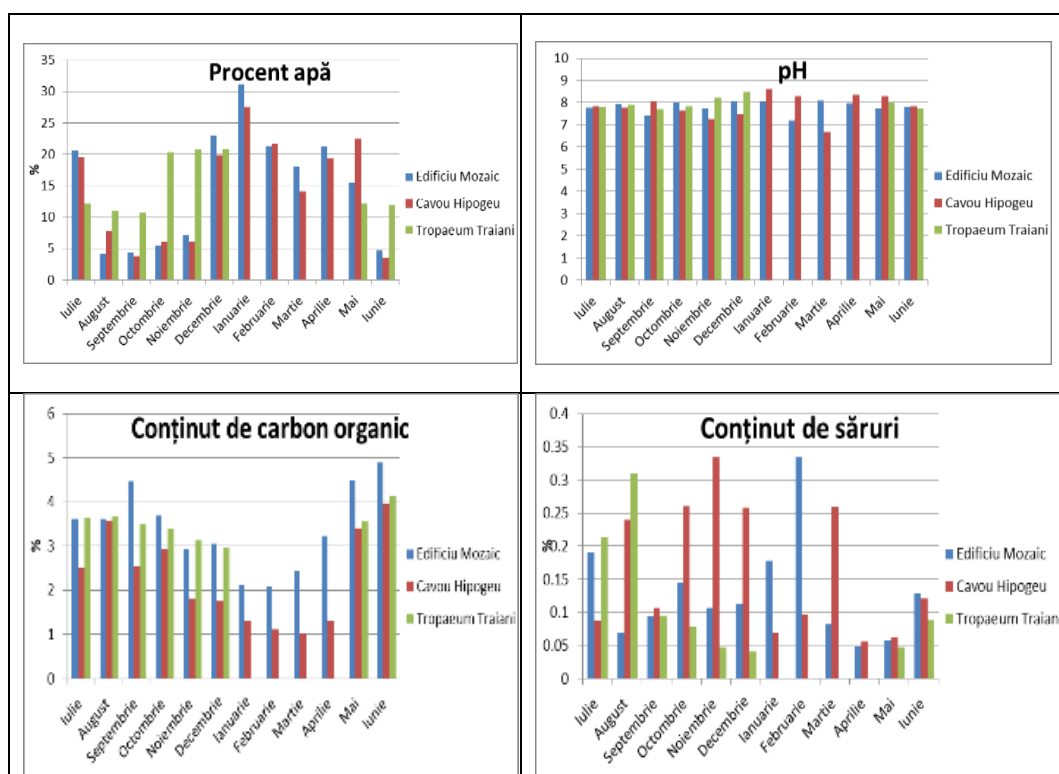


Fig. 6. pH, sarurile, umiditatea, si continutul de carbon organic masurate lamoumentele Mozaicul Roman, Cavoul Hipogeu si Monumentul Adamclisi

Aceasi tendinta este vizibila si in acest caz: cresterea parametrilor pH, carbon organic in lunile de primavara-vara, si agresivitatea proceselor de degradare prin cristalizarea sarurilor si a umiditatii in lunile toamna-iarna [33].

Prin utilizarea unor echipamente performante pH-metre, microscopae digitale cu softuri de prelucrare imagini, s-a putut evalua atat zonele degradate cat si efectul restaurarilor anterioare asupra acestor probe.

Pentru Mozaicul Roman, in scopul observarii mai clare a detaliilor privind probele de mozaic au fost realizate si simulari 3D in formatul "GIF" utilizand software-uri pentru editarea grafica pe computer, Fig.7.

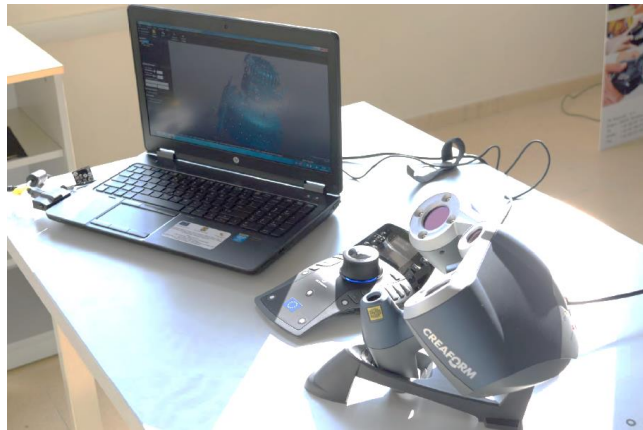


Fig. 7. Simulări 3D pentru editarea grafică pe computer a probelor de mozaic.

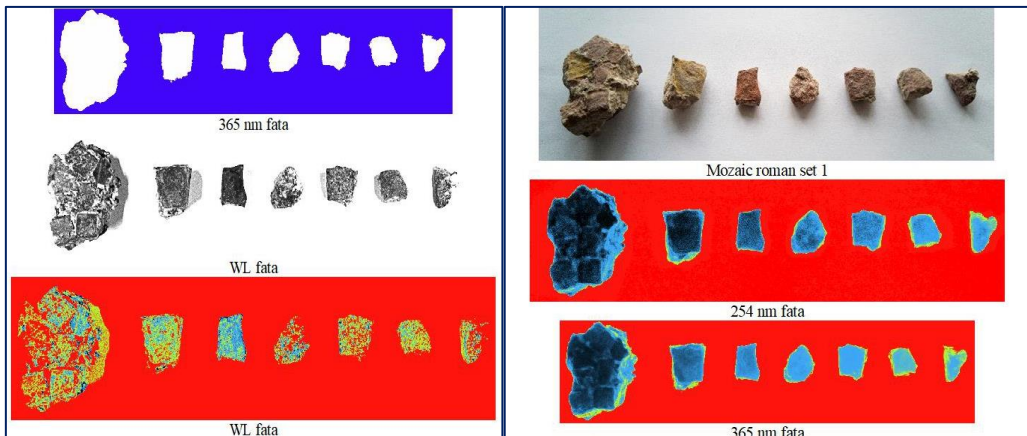


Fig. 8. Sistemul portabil 3D Exascan

Se pot observa fisurile si depunerile de produse de degradare in special la vizualizarea cu lampi de UV cu lungimeade unda 254 nm,

4.4. Studiu de caz: Casa Fantaneanu, Slatina

Pentru analiza digitala si regenerarea patrimoniala a stucaturilor si decoratiunilor de fatada, s-a utilizat un scannerul portabil 3D Exascan este un sistem optic portabil, pentru achiziție de date care captează fiecare detaliu și oferă geometrii exacte de înaltă rezoluție pentru o reprezentare exactă a obiectului scanat, Fig.8. Procesul de scanare este de tipul plug&play. Utilizează metoda triangulației pentru a determina poziția sa în raport cu piesa în timp real. Este un sistem de achiziție de date și în același timp și propriul sistem de poziționare. Exemplificam cazul unor decoratiuni de fatada colectate de restauuratorii colaboratori, Fig.9.

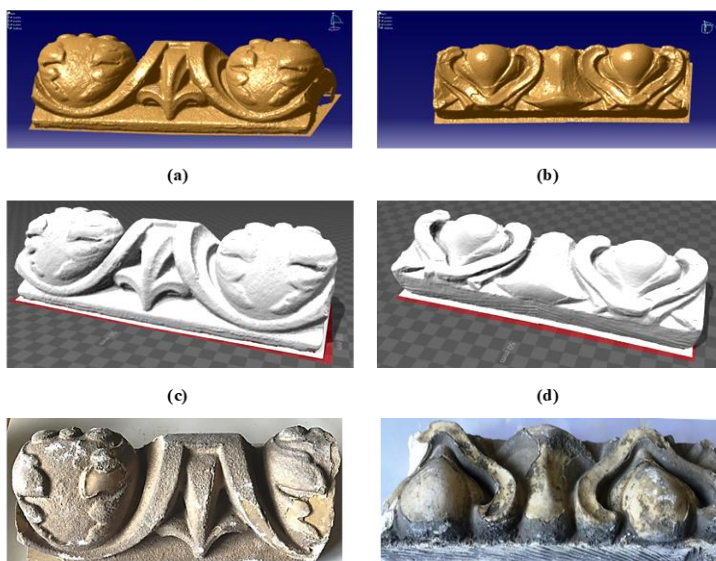


Fig. 9. Reconstituirea digitala a decoratiunii de fatada cu sistemul portabil 3D Exascan

4.5. Castelul Corvinilor

Castelul Corvinilor, cunoscut și sub numele de Castelul Huniazilor din orașul Hunedoara, este cel mai important ansamblu de arhitectură gotico-renascentistă din România, Fig.10. Pe amplasamentul acestuia a funcționat inițial o cetate elipsoidală dăruită lui Voicu, tatăl lui Ioan de Hunedoara, la 18 octombrie 1409, de către Sigismund de Luxemburg, regele Ungariei. Construcția actualului Castel a demarată în jurul anului 1442, prin construirea unei noi incinte dotată cu turnuri de apărare rectangulare și circulare, moment în care Ioan de Hunedoara ocupa poziția de voievod al Transilvaniei. Începând cu anul 1446, când Ioan de Hunedoara a devenit guvernator regent al Regatului Ungariei, apar în interiorul incintei, o serie de construcții civile și religioase. După moartea lui Ioan de Hunedoara în 1456, au fost adăugate numeroase elemente renașcentiste în arhitectura clădirii. Etapa de construcție atribuită lui Matia Corvin durează până în 1480, moment în care castelul era recunoscut ca fiind una dintre cele mai mari și mai impresionante clădiri din Europa de Est.



Fig. 10. Castelul Corvinilor
Sursă: foto personal

Aspectul general se datorează construcțiilor din secolul al XVII-lea și lucrărilor de restaurare din secolul al XIX-lea până în secolul al XX-lea, unele dintre acestea din urmă fără motive de compatibilitate între materialele folosite. Astăzi, Castelul Corvinilor este o structură impunătoare, cu turnuri înalte, bastioane, o curte interioară, acoperișuri divers colorate și nenumărate ferestre și balcoane împodobite elemente decorative din piatră [34, 35, 36, 37, 38, 39, 40].

Prin metodele oferite de digitalizare, și amplasamentul probelor prelevate, s-au efectuat măsuratori de temperatura, la Loggia Matia, Fig. 11, 12.

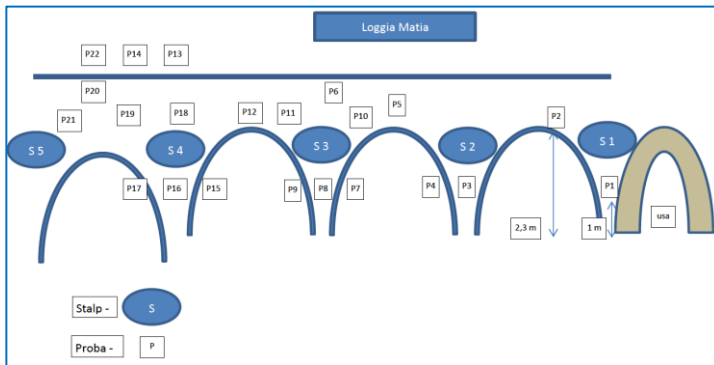


Fig. 11. Locatia masuratorilor de temperatura, Loggia Matia

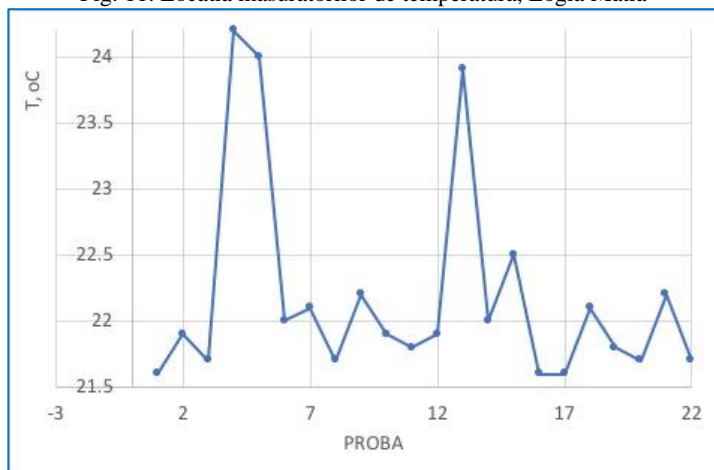


Fig. 12. Graficul variatiilor de temperatura

Cele mai mici temperaturi au fost măsurate la stalpii exteriori ai Logiei Matia. Și în acest caz, au fost realizate și simulări 3D în formatul “GIF” utilizând software-uri pentru editarea grafică pe computer, în special pe pigmentii roșii prezenți pe urmele de pictură rămasă pe stalpi. La 254 nm se poate observa prezența mai multor straturi de vopsea, dovada fiind multiplele intervenții la nivelul acestui monument, Fig.13.

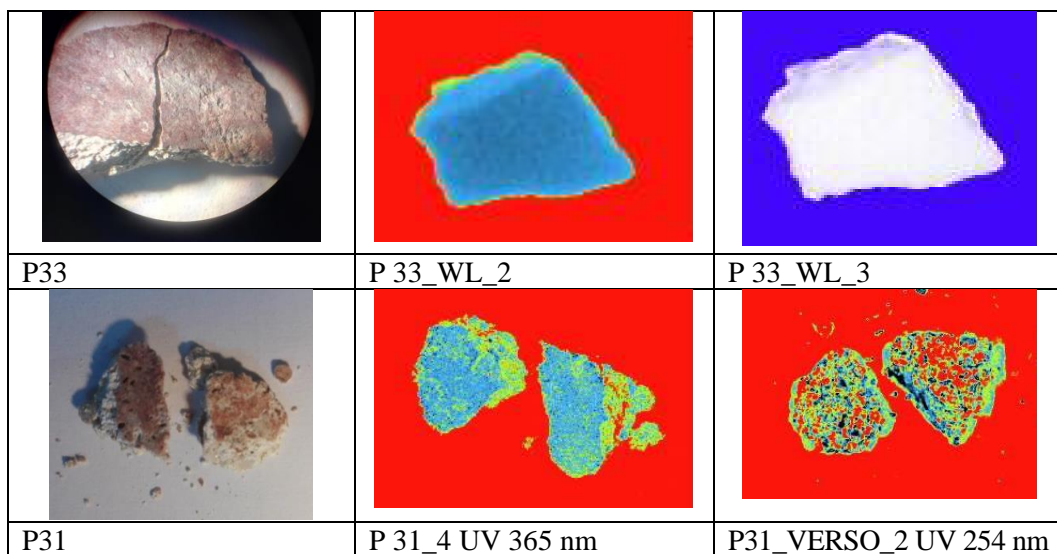


Fig. 13. Simulări 3D pentru editarea grafică pe computer a probelor Logia Matia.

5. Utilizarea agregatelor din beton reciclat

Majoritatea deșeurilor produse de structurile demolate au fost eliminate prin aruncarea lor ca umplutură. Deversarea deșeurilor pe terenuri cauzează lipsa gropilor de gunoi în zonele urbane. Prin urmare, este necesar să se înceapă reciclarea și reutilizarea deșeurilor de beton din demolări pentru a economisi mediu, costuri și energie. Utilizarea agregatelor reciclate din deșeurile din construcții și demolări prezintă o aplicare prospectivă în construcții ca alternativă la agregatele naturale [41].

Multe clădiri vechi, pavaje din beton, poduri și alte structuri și-au depășit vechimea și limita de utilizare din cauza deteriorării structurale dincolo de reparații și trebuie demolate. Structurile, chiar adecvate pentru utilizare, sunt în curs de demolare, deoarece nu servesc nevoilor din scenariul actual. Structurile sunt transformate în resturi rezultate din dezastre naturale, cum ar fi cutremurul, ciclonele și inundațiile etc. Construcția nouă este necesară pentru o creștere economică mai bună [42].

Agregatele din beton reciclat (RCA) conțin nu numai agregatele originale, ci și pasta de ciment hidratată. Reciclarea agregatelor poate avea loc fie la locul din care provin materialele, cu ajutorul concasoarelor, fie materialele pot fi transportate la o instalație centrală de reciclare unde se pot acumula stocuri mari. Agregatele reciclate din aceste instalații centrale de reciclare sunt supuse unui număr de procese pentru a asigura o calitate superioară [43].

Diverse procese implică, zdrobirea, predimensionarea, sortarea, cernerea și eliminarea contaminanților. Apoi, pentru a începe cu agregate curate, de calitate, pentru a îndeplini cu ușurință criteriile de proiectare și, în cele din urmă, pentru a obține un produs de calitate care va intra în utilizarea finală. Curățarea ulterioară se face, de asemenea, pentru a se asigura că produsul din beton reciclat nu conține murdărie, lut, lemn, plastic și materiale organice. Acest lucru se face prin plutirea apei, alegerea manuală, separatoarele de aer și separatoarele electromagnetice.

Sfărâmăturile de cărămidă au fost întrebuințate încă din antichitate în construcții. Astfel, în lucrarea despre arhitectură a lui Vitruvius, apărută în anul 13 î.H., găsim în cartea VII-a, cap.4, următoarele: “La tencuiala pentru fundația umedă, în loc de nisip se vor întrebuința sfărâmături de cărămizi arse, pentru ca această parte a tencuielii să nu fie vătămată de umiditate”.

În cercetările efectuate de prof. Steopoe pe probe de mortar provenite de la Sarmisegetuza, s-a constatat că mortarele din pavaje sau din părțile inferioare ale zidurilor, conțineau drept agregat un amestec de sfărâmături și praf de cărămidă. Se semnaleză faptul că sfărâmăturile de cărămidă pot fi întrebuințate și ca agregate pentru betoane ușoare, care au proprietăți izolatoare bune [44].

6. Rezultate experimentale originale

Prin utilizarea diverselor sortimente de deseuri (ceramica, marmura, lemn -rumegusm polimer), s-au realizat specimene 5x5x5 cm (Fig.14) supuse analizelor structurale, compozitionale și microscopice, dar și de rezistența la factori externi și mecanici.

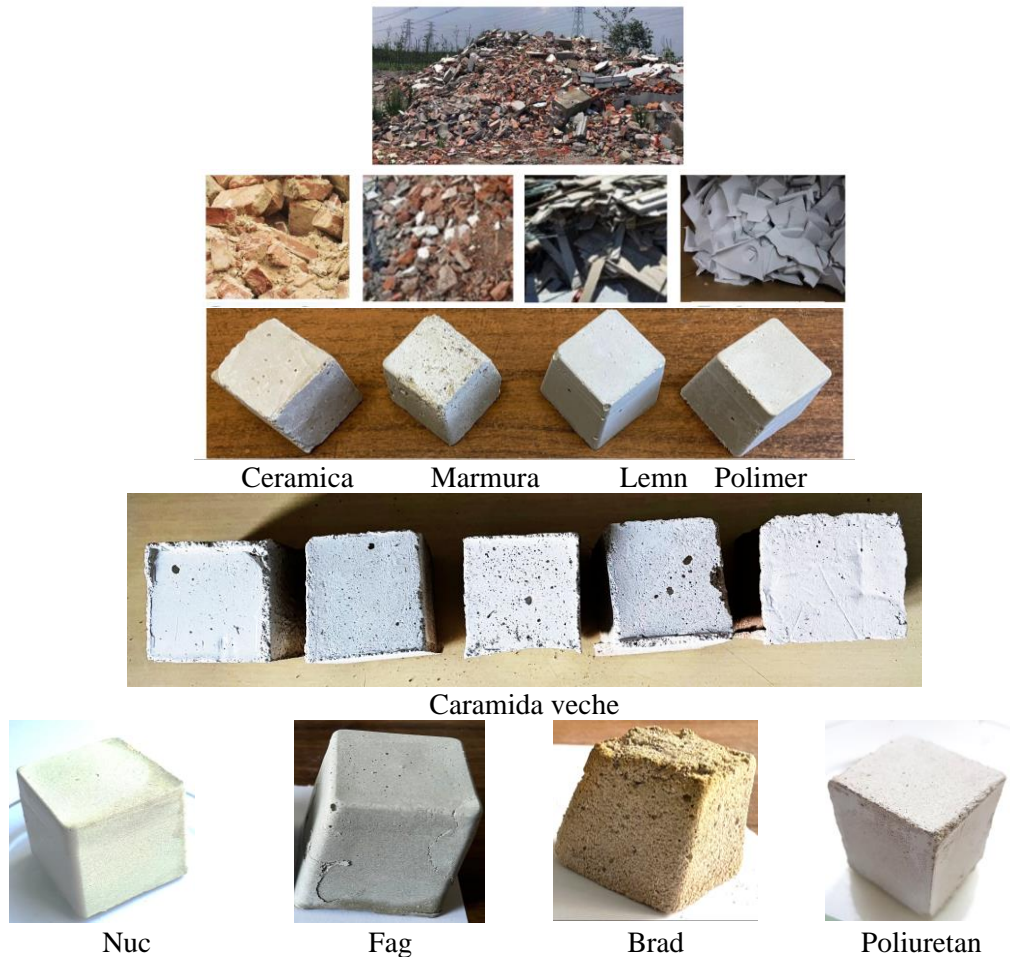


Fig. 14. Mostre de specimene realizate cu agregate diverse

Rezistența mecanică a probelor de mortar cu poliretan, este prezentată în Fig.15, indicând o rezistență mecanică apropiată de a unui ciment normal [45, 46, 47].

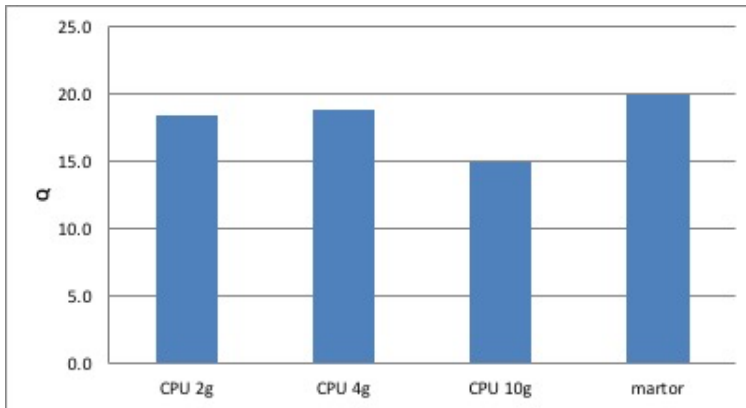


Fig. 15. Variația rezistenței mecanice la specișene cu RCA poliretan

În cazul RCA caramoda veche, volumul porilor este de zece ori mai mic, făcându-l mai compresiv și mai rezistent [48, 49]. Acest lucru ar putea explica rezistența mecanică mai mare (7 MPa) decât rezistența mecanică inițială (5 MPa) după 24 de ore. La 28 de zile, aceste valori au devenit 10 MPa și după 50 zile au devenit 18 MPa.

6.1. Comportamentul caramizilor din materiale reciclate și testarea lor

Rezistența la cicluri repetate îngheț-dezghet a fost testată pe aceste specișene, o exemplificare fiind prezentată pe specișenele cu rumegus de nuc, Fig. 16.

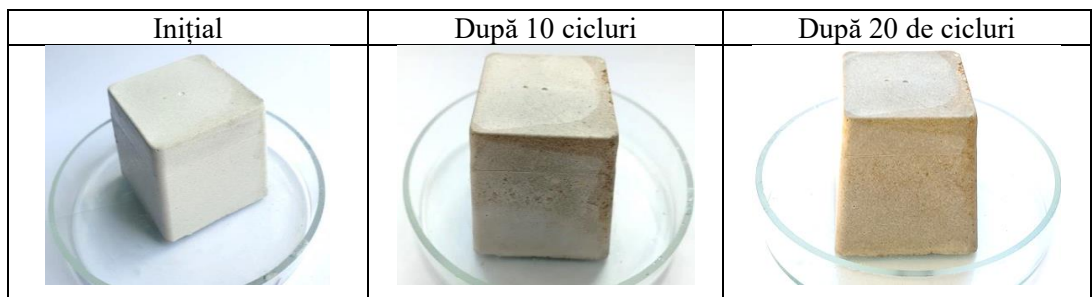


Fig. 16. Rezistența la cicluri repetate îngheț-dezghet specișene cu rumegus de nuc

7. Concluzii

Cercetările au arătat că agregatele reciclate grosier pot fi utilizate în beton până la o rezistență la compresiune de 80 N/mm² și pot fi utilizate în intervalul 20-30% din masa agregatelor necesare împreună cu agregatele naturale [50].

Acceptabilitatea agregatelor reciclate este împiedicată pentru aplicații structurale din cauza problemelor tehnice asociate cu acestea, cum ar fi zonele slabe de tranziție interfațială între pasta de ciment și agregate, porozitatea și fisurile transversale din betonul demolat, nivelul

ridicat al conținutului de sulfat și clorură, impuritățile, resturile de ciment, clasificarea slabă și variația mare a calității.

Materialul spart este colțuros și prin urmare este posibil să dea betoane mai puțin lucrabile. Acest dezavantaj este contracarat însă de utilizarea mijloacelor moderne de vibrație, prin care se realizează o bună compactare a betonului.

Agregatul obținut prin concasarea betoanelor provenite din demolări este încărcat și cu costul manoperei de concasare. Este deci necesar ca materialul să nu fie întrebuințat singur, ci în amestec cu pietrișul și nisipul de balastieră. În ceea ce privește proporția amestecului și dozaajul necesar, acestea vor fi determinate de destinația betonului și de rezultatele ce se vor obține la încercările preliminare.

Porozitatea unui beton întărit este mai mare decât aceea a betoanelor realizate cu agregate silicioase obișnuite, amestecul de beton va cere deci, multă apă spre a ajunge la consistența plastică, fapt ce va produce o reducere a rezistențelor mecanice și o mărire a contracției la uscare.

Asemenea materiale se pot folosi pentru realizarea de betoane ușoare cu densități aparente spre limita superioară a valorilor admise pentru acest tip de betoane realizate cu agregate ușoare. Domenii de utilizare posibile pentru asemenea betoane se referă la realizarea de blocuri de zidărie, pereți neporanți, umplutură pentru pereți tip sandwich. Realizare amenajări exterioare pe amplasamentul monumentului istoric și realizarea/reabilitarea/modernizarea construcțiilor conexe inclusiv reabilitarea, modernizarea drumurilor / căilor de acces direct, sau extinderea monumentelor istorice.

Referințe

- [1] European Commission, "Construction and demolition waste.," 2018.
- [2] European Commission , "Communication from the Commission to the European Parliament and the Council strategy for the sustainable competitiveness of the construction sector and its enterprises.," 2012.
- [3] European Commission, "Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on Resource Efficiency Opportunities in the Building Sector.," 2014.
- [4] European Commission , "EU construction and demolition waste protocol and guidelines.," 2018.
- [5] European Commission, "Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions.," pp. 1-27, 2021.
- [6] European Environment Agency, "Construction and demolition waste: Challenges and opportunities in a circular economy.," 2020.
- [7] Eurostat Statistical books, Eurostat regional yearbook, 15.
- [8] I. Papamichael, I. Voukkali, P. Loizia and A. A. Zorpas, "Construction and demolition waste framework of circular economy: A mini review. Waste Management & Research," vol. 41, no. 12, pp. 1728-1740, 2023.
- [9] Bergonzoni, M; Melloni, R; Botti, L, "Analysis of sustainable concrete obtained from the by-products of an industrial process and recycled aggregates from construction and demolition waste," *Procedia Computer Science*, vol. 217, pp. 41-51, 2023.

- [10] F. d. S. Souza, J. M. F. Carvalho, G. G. Silveira, V. C. Araujo and R. A. F. Peixoto, "Application of Construction and Demolition Waste in Civil Construction in the Brazilian Amazon—Case Study of the City of Rio Branco, Materials," *MDPI*, vol. 14, no. 2247.
- [11] C. K. Purchase, D. M. Al Zulayq and B. T. O'brien, "Circular economy of construction and demolition waste: A literature review on lessons, challenges, and benefits. Materials," vol. 15, no. 76.
- [12] R. Minunno, "Strategies for applying the circular economy to prefabricated buildings," *Buildings*, vol. 8, no. 9, pp. 125-135, 2018.
- [13] G. L. F. Benachio and M. d. C. D. Freitas, "ircular economy in the construction industry: A systematic literature review.,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 260, no. 121046, 2020.
- [14] Z. U. Ozola, R. Vesere, S. Kalnins and D. Blumberga, "Paper Waste Recycling. Circular Economy Aspects Environmental and Climate Technologies," vol. 23, no. 3, pp. 260-273, 2019.
- [15] K. Hamad, M. Kaseen and F. Deri, "Recycling of waste from polymer materials: An overview of the recent works, Polymer Degradation and Stability," vol. 98, no. 12, 2013.
- [16] R. Gomez-Rojo, L. Alameda, A. Rodriguez, V. Calderon and S. Gutiérrez-González, "Characterization of Polyurethane Foam Waste for Reuse in Eco-Efficient Building Materials. Polymers," vol. 11, no. 359, 2019.
- [17] C. Junco, A. Rodriguez, V. Calderon, C. Munoz-Ruperez and S. Gutiérrez-González, "Fatigue durability test of mortars incorporating polyurethane foam wastes. Construction and Buildings Materials," vol. 190, pp. 373-381, 2018.
- [18] P. Mounanga, W. Ggbongbon, P. Poullain and P. Turcry, ,, "Proportioning and characterization of lightweight concrete mixtures made with rigid polyurethane foam wastes.,” *Cement and Concrete Composites*, vol. 30, pp. 806-814, 2008.
- [19] M. Kismi and P. Mounanga, "Comparison of short and long-term performances of lightweight aggregate mortars made with polyurethane foam waste and expanded polystyrene beads.,” *Proceedings on 2nd International Seminar on Innovation and Valorization in Civil Engineering and Construction Materials*, vol. 2, 2012.
- [20] J. Gadea, A. Rodriguez, P. Campos, J. Garabito and V. Calderon, "Lightweight mortar made with recycled polyurethane foam,” *Cement and Concrete Composites*, vol. 32, p. 672–677.
- [21] Y. Obata, K. Takeuchi, N. Soma and K. Kanayama, "Recycling of wood waste as sustainable industrial resources—Design of energy saving wood-based board for floor heating systems,” *Energy*, vol. 31, no. 13, pp. 2341-2349, 2006.
- [22] S. Gao, "Agricultural and aquaculture wastes as concrete components: A review.,” *Frontiers of Materials*, vol. 8, no. 762568, 2021.
- [23] E. Harrison, A. Berenjian and M. Seifan, "Recycling of waste glass as aggregate in cement-based materials.,” *Environmental Science and Ecotechnology*, vol. 4, no. 100064.
- [24] A. González, C. Sendra and A. Herena, "Methodology to assess the circularity in building construction and refurbishment activities.,” *Resources, Conservation & Recycling Advances*, vol. 12, no. 200051, 2021.
- [25] R. Kumar Goyal, V. Agarwal and R. Gupta, "Optimum utilization of ceramic tile waste for enhancing concrete properties.,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 49, p. 1769–1775, 2022.
- [26] J. Ahmad, W. Alattyih, Y. M. Jebur, M. Alqurashi and N. G. Troncoso, "A review on ceramic waste-based concrete: A step toward sustainable concrete.,” *Reviews on Advanced Materials Science*, vol. 62, no. 1, 2023.
- [27] G. V. Vigneshpandian, E. A. Shruthi, C. Venkatasubramanian and M. Denesh, "Utilisation of Waste Marble Dust as Fine Aggregate in Concrete. IOP Conference Series,” *Earth and Environmental Science*, vol. 80, no. 012007.
- [28] A. Townsend, *Smart Cities: Big Data, Civic Hackers, and the Quest for a New Utopia.*, New York: W.W. Norton and Company Publishing House, 2013.

- [29] T. Yigitcanlar, M. Kamruzzaman, L. Buys, G. Ioppolo, J. Sabatini-Marques, E. M. da Costa and J. J. Yun, "Understanding smart cities: Intertwining development drivers with desired outcomes in a multidimensional framework," *Cities*, vol. 81, pp. 145-160, 2018.
- [30] United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation, Convention Concerning the Protection of the World and Cultural and Natural Heritage, Paris, 1972.
- [31] R. M. Ion, D. Turcanu-Carutiu, R. C. Fierascu, I. Fierascu, I. R. Bunghez, M. L. Ion, S. Teodorescu, G. Vasilevici and V. Raditoiu, "Hydroxyapatite Composition As Consolidating Material For The Chalk Stone From Basarabi- Murfatlar Churches Ensemble, Applied Surface Science," vol. 358, pp. 612-618.
- [32] C. Radulescu, M. R. Ion, C. Stihl, I. D. Dulama, C. M. Nicolescu, I. A. Bucurica, I. V. Gurgu, R. M. Stirbescu, R. L. Olteanu, S. G. Stanescu, A. I. Gheboianu and D. D. Let, "Characterization of airborne particulate matter to assess the impact on degradation of cultural heritage: The Tropaeum Traiani Monument," *The Tropaeum Traiani Monument, Journal of Science and Arts*, vol. 20, no. 3(56), pp. 807-818, 2018.
- [33] C. Radulescu, R. M. Ion, I. D. Dulama, A. I. Gheboianu and I. A. Bucurica, "Non-invasive techniques for characterization of original Roman mosaic fragments," vol. 2204, no. 012041, 2022.
- [34] R. M. Ion, "Analytical Investigations and Advanced Materials for Damage Diagnosis and Conservation of Monument's Stucco, În: Majid HOSSEINI, Ioannis KARAPANAGIOTIS," *Advanced Materials for the Conservation of Stone, Springer International Publishing House*, pp. 209-221, 2018.
- [35] R. M. Ion, L. Iancu, R. M. Grigorescu, D. Turcanu, S. Tincu, N. Ion, I. A. Bucurica, S. Teodorescu, I. D. Dulama and R. M. Stirbescu, "Arhaometric Concepts and Methods of Intervention on Historical Monument Buildings. The Case of the Corvins' Castle," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 374, no. 012073, 2018.
- [36] R. M. Ion, S. Tincu, L. Iancu, R. M. Grigorescu, C. Radulescu, S. Teodorescu, I. D. Dulama, R. M. Stirbescu, I. A. Bucurica, M. L. Ion and A. I. Gheboianu, "Archaeometric studies and conservation solutions for Corvins' Castle circular towers," *2019 IMEKO TC-4 International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage Florence*, p. 314-317, 2019.
- [37] R. M. Ion, S. Tincu and L. Iancu, "Investigations of the new gate tower from Corvins' Castle," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, no. 572.
- [38] R. M. Ion, S. Tincu, I. Minca, S. Teodorescu, R. M. Stirbescu, I. D. Dulama, I. A. Bucurica and A. I. Gheboianu, "Instrumental Analytical Techniques Applied to Old Gate Tower from Corvins' Castle," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 877, pp. 012050-012059, 2020.
- [39] R. M. Ion, L. Iancu, M. E. David, R. M. Grigorescu, B. Trica, R. Somoghi, S. Vasile, I. D. Dulama, A. I. Gheboianu and S. Tincu, "Multi-Analytical Characterization of Corvins' Castle – Deserted Tower," *Construction Materials and Conservation Tests, Heritage*, vol. 3, no. 3, p. 941-964, 2020.
- [40] A. Bogdan, "Contribuții arheologice la cunoașterea Castelului Corvineștilor de la Hunedoara," *Buletinul Monumentelor Istorice*, vol. XXXIX, no. 2, pp. 25-40, 1970.
- [41] C. Fagone, M. Santamicone and V. Villa, "Architecture engineering and construction industrial framework for circular economy. Development of a circular construction site methodology," *Sustainability*, vol. 15, no. 1813, 2023.
- [42] G. F. Benachio, M. C. D. Freitas and S. F. Tavares, "Circular economy in the construction industry: A systematic literature review.," *Journal of Cleaner Production*, vol. 260, no. 121046, 2020.
- [43] G. Bertino, J. Kissler and J. Zeilinger, "Fundamentals of building deconstruction as a circular economy strategy for the reuse of construction materials," *Applied Sciences*, vol. 11, pp. 1-31, 2021.
- [44] N. S. Noica, C. Matei, I. Dima and M. Munteanu, "ultură și Civilizație la Dunărea De Jos: Cercetări Fizico-Chimice Privind Mortarul De Rostuială Folosit Ia Instalatia Portuară Antică De Ia Capidava," *Culture Et Civilisation Au Bas Danube*, vol. 9, no. 1, p. 93, 1995.
- [45] R. Kumar Goyal, V. Agarwal and R. Gupta, "Optimum utilization of ceramic tile waste for enhancing concrete properties," *Materials Today: Proceedings*, vol. 49, p. 1769-1775, 2022.
- [46] R. V. Meena, J. K. Jain and H. S. Chouhan, "Use of waste ceramics to produce sustainable concrete: A review. Cleaner Materials," vol. 4, no. 100085, 2022.

- [47] A. Moşiu, R. M. Ion and M. Moşoarcă, “Multiple study of mortars with the related impact application on old brick surfaces in historical buildings. Case study: Banloc Castle from Romania,” *Journal of Architecture Urbanism and Heritage*, vol. 6, no. 2, pp. 9-16, 2023.
- [48] Y. Naceri and M. C. Hamina, “Use of waste brick as a partial replacement of cement in mortar,” *Waste Management*, vol. 29, no. 8, pp. 2378-2384, 2009.
- [49] C. L. Knox, D. Dizhur and J. M. Ingham, “Experimental study on scale effects in clay brick masonry prisms and wall panels investigating compression and shear related properties,” *Construction and Building Materials*, vol. 163, pp. 706-713, 2018.
- [50] R. M. Ion, L. Iancu, R. M. Grigorescu, S. Colesniuc, V. Schroder, R. A. Trandafir, S. Ionita, A. I. Gheboianu and S. Slamnoiu-Teodorescu, “Diagnosis, photogrammetry and conservation treatment with nanomaterials of Sacidava fortress,” *Chemistry Proceedings*, vol. 13, pp. 25-34, 2023.

Această lucrare a fost susținută de proiectele: PNII 222/2018, PNIII 51PCCDI / 2018 de la MCID-UEFISCDI. Multumiri speciale tuturor colaboratorilor.

