

UNIVERSITATEA “OVIDIUS” DIN CONSTANTA

SCOALA DOCTORALA DE STIINTE APLICATE

DOMENIUL DE DOCTORAT INGINERIE CIVILA

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

Conducator de doctorat

Prof.habil.dr.ing. Carmen Elena MAFTEI

Student-doctorand

Ing.Mociu Nicolae Costin

CONSTANȚA, 2023

UNIVERSITATEA “OVIDIUS” DIN CONSTANTA

SCOALA DOCTORALA DE STIINTE APLICATE

DOMENIUL DE DOCTORAT INGINERIE CIVILA

**Investigarea secretelor mortarelor romane și propuneri de compoziții noi de mortare în
contextul regenerării urbane sustenabile**

-Rezumat-

Conducator de doctorat

Prof.habil.dr.ing. Carmen Elena MAFTEI

Student-doctorand

Ing.Mociu Nicolae Costin

CONSTANȚA, 2023

Cuprins

1. Regenerarea urbană – context, definiții, principii.....	5
2. Metode si metodologii de cercetare	8
3. Stadiul actual al cunoașterii cu privire la mortare în domeniul construcțiilor.....	11
4. Descrierea zonei de studiu	14
5. Program experimental.....	19
6. Interpretarea rezultatelor.....	25
7. Concluzii	29
Bibliografie selectivă	36

Mulțumiri

În primul rând, doresc să îi mulțumesc în mod deosebit doamnei prof.habil.dr.ing. Maței Carmen Elena, coordonatorul meu științific, pentru îndrumarea constantă, atenția la detalii, sprijinul și nu în ultimul rând, răbdarea de care a dat dovadă pe tot parcursul elaborării și redactării tezei. De asemenea aș dori să îmi manifest și recunoștința pentru deschiderea doamnei profesor față de orice temă de studiu din domeniu.

Doresc, de asemenea, să le mulțumesc membrilor comisiei de îndrumare, care s-au implicat activ și constant în pregătirea tezei prin sugestii și sfaturi de folos. Doamnei prof.univ.dr.ing. Ionela Cărăzeanu Popovici pentru ajutorul oferit la efectuarea analizelor chimice și interpretarea rezultatelor, iar doamnei prof.univ.dr.ing. Ana-Maria Grănescu, pentru posibilitatea de a efectua practica în cadrul Colegiul International de Pregătire Profesională Continuă pentru Experti și Specialiști. Le mulțumesc doamnelor prof.univ.dr.habil.Monica Vlad și prof.univ.dr. Carmen-Adina Ciugureanu, care mi-au fost tutore timp de un an în cadrul proiectului “Program pentru creșterea performanței și inovării în cercetarea doctorală și postdoctorală de excelență – PROINVENT Contract nr. 62487/03.06.2022 POCU/993/6/13 - Cod SMIS: 153299”.

Totodată, aprecierea mea se îndreaptă și către colectivul Facultății de Construcții a Universității Ovidius din Constanța, domnul decan, ș.l.univ.dr.ing. Cosmin Filip, domnul conf.univ.dr.ing. Constantin Buta, doamna ș.l.univ.dr.ing. Mădălina Stănescu și doamna ș.l.univ.dr.ing. Geanina Mihai, pentru ajutorul oferit și înțelegerea de care au dat dovadă pe parcursul elaborării tezei. Doresc să îi mulțumesc pe această cale și doamnei prof.univ.dr.ing. Georgeta Voicu pentru sprijinul oferit în analiza chimică a materialelor cercetate. În același timp, țin să îi mulțumesc domnului primar al orașului Ovidiu, George Scupra pentru accesul la documentele necesare și în incinta sitului arheologic și de asemenea domnului Constantin Băjenaru.

Nu în ultimul rând, aș dori să îmi exprim recunoștința familiei, care a fost alături de mine de la început, m-a încurajat și ajutat ori de câte ori a fost nevoie în toate activitățile implicate în elaborarea tezei.

1. Regenerarea urbană – context, definiții, principii

Termenul de regenerare urbană a cunoscut diferite moduri de abordare în istoria dezvoltării orașelor și are, în timp, diferite conotații care încep cu programele de dezvoltare urbană ale Parisului propuse și realizate de baronul Haussmann [30].

În ultima perioadă constatăm o preocupare la nivel mondial și european cu privire la dezvoltarea urbană bazată pe principiile durabilității și integrității la care se adaugă asigurarea durabilității mediului și a atenuării impactului schimbărilor climatice. Cu privire la terminologie, în imaginea de mai jos prezentăm o evoluție a termenilor după Roberts și Sykes [19] caracterizate în funcție de strategia și nivelul de dezvoltare, modul de abordare și contextul social.

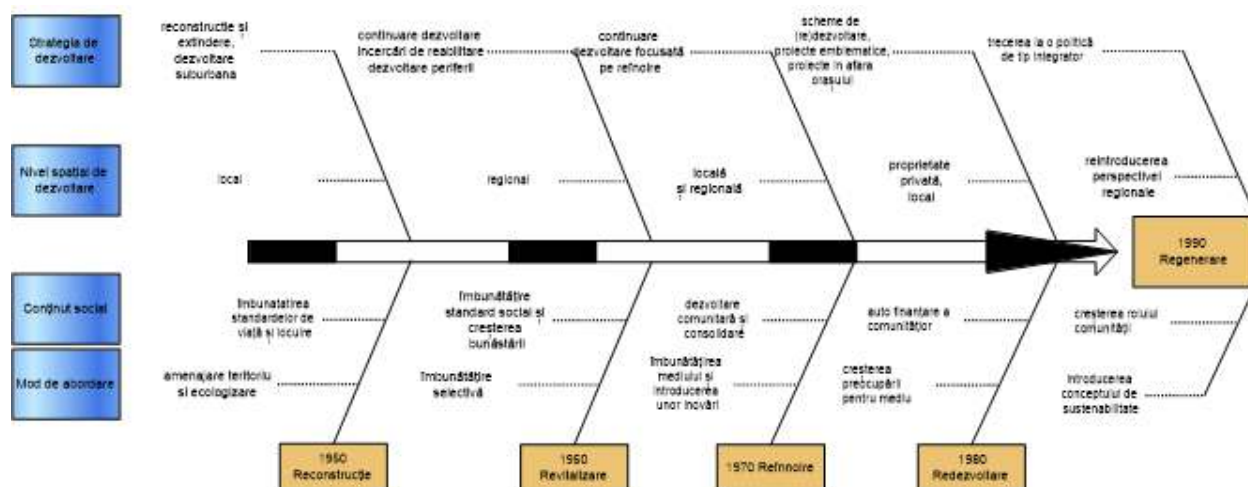


Figura 1 Schița evoluției conceptului de regenerare urbană

În accepțiunea lui Roberts și Sykes termenul de regenerare urbană poate fi definit ca: „Viziune și acțiune cuprinzătoare și integrată care duc la rezolvarea problemelor urbane și care urmăresc să aducă o îmbunătățire durabilă a stării economice, fizice, sociale și de mediu a unei zone care a fost supusă schimbării.” [19].

Cu referire la problema regenerării patrimoniului construit, considerăm că termenul nu este introdus și definit în mod clar în documentele europene cu privire la dezvoltarea/regenerarea urbană. Exemplele de regenerare urbană care au ca scop conservarea patrimoniului au arătat că aceste reprezintă o forță motrice de creștere economică, ocupare a forței de muncă și coeziune

socială, ajutând la revitalizarea orașelor sau a zonelor rurale și la promovarea turismului [31] . Din acest motiv considerăm că regenerarea patrimoniului construit ajută la dezvoltarea unui oraș/localitate competitiv și productiv.

În contextul prezentat constatăm că în munca de conservare a monumentelor istorice/arheologice ce fac parte din patrimoniul istoric și cultural, un rol important îl au materialele folosite. Până în anii 1970-1980 caracterizarea mortarelor istorice în general se realiza numai pe baza analizelor chimice tradiționale („wet chemical analysis”) [6], analize ce foloseau un acid de obicei HCl (acidul clorhidric). O serie impresionantă de astfel de analize a fost realizată în Polonia de către H. Jedrzejewska. Acest proces i-a permis clasificarea mortarelor din trei determinări: conținutul de dioxid de carbon, nisip și materie solubilă. Principala limitare a acestei tehnici este că, dacă carbonatul este prezent într-un mortar atunci acesta va fi dizolvat. În ultima perioadă procedee ale microscopiei optice și tehnica difracției X-ray (XRD) sunt propuse ca prim pas în determinarea componentelor mortarelor. Alături de acestea se mai pot folosi spectrometria în infraroșu, analize termice (termogravimetria – TG, Analiza termala diferențială -DTA), microscopia electronică, teste fizice și mecanice totul depinzând de scopul investigațiilor ce trebuie realizate și de cantitatea de material avută la dispoziție.

Acest studiu are ca scop principal determinarea unei compoziții de mortar adecvate pentru a fi utilizată la lucrările de reabilitare a monumentelor istorice localizate în sit-uri arheologice din România.

Obiectivul cercetării va fi atins prin studiul, pe de o parte, a mortarelor utilizate la sit-ul arheologic al fortificației Romane de la Ovidiu pentru a le determina proprietățile fizice și chimice și realizarea, pe de altă parte, a noi compoziții de mortar pe bază de var ce vor fi supuse aceluiași analize în vederea realizării unei comparații cât mai cuprinzătoare cu rezultatele obținute pe mortarele romane și alegerii compoziției optime pentru utilizare ulterioară.

În același timp, în actualul context al dezvoltării durabile, o parte din rețetele nou realizate vor avea în componenta lor deșeu obținut prin prelucrarea mortarelor obținute din lucrările de restaurare ale monumentelor istorice, fapt ce ar putea duce la un consum mai mic de materiale noi, o cantitate mai mică de deșeuri și în același timp la micsorarea gradului de poluare.

Noutatea adusă prin prezenta teza de doctorat constă în utilizarea unui set de analize menite să evidențieze proprietățile chimice și mineralogice ale mortarelor obținute de la castrul Roman și ale mortarelor realizate în laborator (XRD, XRF, SEM, TGA-ATD), analize ce vin în completarea celor clasice (porozitate, densitate aparentă, rezistența la compresiune) și contribuie la elaborarea unei comparații cât mai obiective între cele două materiale.

Modalitatea în care sunt atinse obiectivele propuse, împreună cu rezultatele cercetării, sunt prezentate în prezenta lucrare structurată în 7 capitole după cum urmează:

Capitolul 1, în care se realizează o prezentare generală a regenerării urbane și a importanței conservării patrimoniului cultural, precum și a studiului materialelor de construcții utilizate la reabilitarea monumentelor istorice. De asemenea, în acest capitol este argumentată motivația cercetării și sunt enumerate obiectivele principale ale studiului.

Capitolul 2 tratează „Stadiul actual al mortarelor în domeniul construcțiilor”, începând cu o scurtă istorie a mortarelor, apoi descriind tipurile de mortare, clasificarea acestora, precum și materialele componente ale acestora.

În **Capitolul 3** sunt evidențiate caracteristicile zonei de studiu, cum ar fi, climă, geologia, hidrologia, precum și informații referitoare la apeductul roman ce alimenta în antichitate Cetatea Tomis și își are originea pe malul lacului Siutghiol. Tot în acest capitol este descrisă și fortificația Romană de pe malul lacului Siutghiol din Ovidiu, locație de unde au fost extrase probele de mortar supuse ulterior analizelor pentru determinarea proprietăților fizice și chimice.

Capitolul 4 este destinat „Metodelor și metodologiilor de cercetare” începând cu metodele clasice de determinare a proprietăților fizice și mecanice ale mortarelor studiate, continuând apoi cu analizele pentru determinarea proprietăților chimice și mineralogice ale mortarelor, cum ar fi Difrakția de raze X (XRD), Fluorescența de raze X (XRF), Analiza termică (TGA-ATD) și Microscopia electronică (SEM).

Programul experimental este evidențiat în **Capitolul 5**, prin prezentarea modului de prelevare a probelor de mortar de la sit-ul arheologic și a rezultatelor obținute în urma analizelor efectuate. Tot aici sunt descrise rețetele de mortar realizate în laborator, modul de preparare al acestora, precum și rezultatele analizelor pentru determinarea proprietăților materialelor.

În **Capitolul 6** are loc interpretarea rezultatelor prin centralizarea tuturor datelor obținute, analiză grafică a acestora prin intermediul diagramelor și a graficelor, urmate de prelucrarea și

interpretarea rezultatelor. Nu în ultimul rând, sunt prezentate hărțile în care au fost evidențiate zonele de dezvoltare urbană a orașului Ovidiu.

Capitolul 7 prezintă concluziile generale, contribuțiile personale, valorificarea rezultatelor obținute și direcțiile viitoare de cercetare.

2. Metode si metodologii de cercetare

Metodologia utilizată în această lucrare este una mixtă care se bazează pe de o parte pe utilizarea metodelor calitative și pe de altă parte a metodelor cantitative (Figura 2).

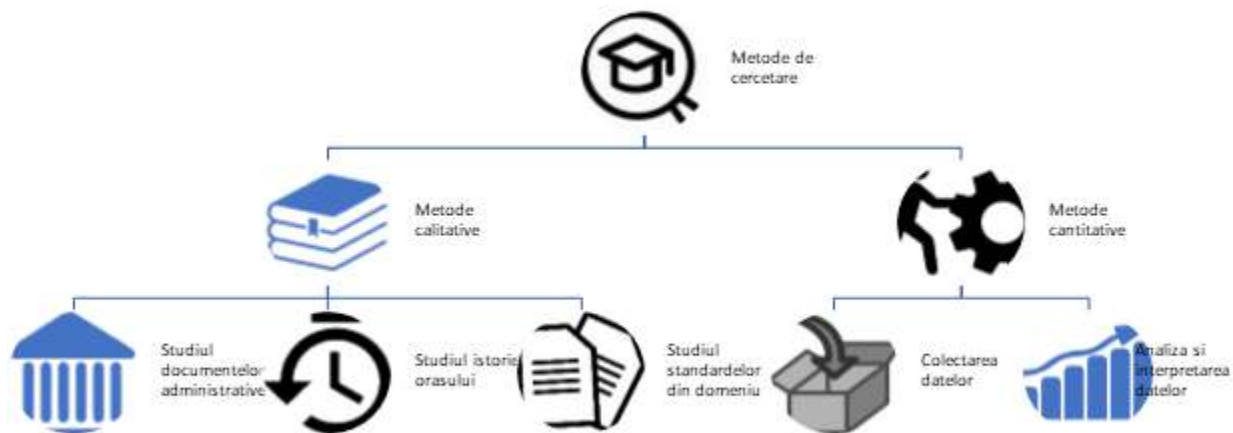


Figura 2 Metode de cercetare

Metodele calitative se referă la: (i) metode exploratorii bazate pe analiza documentară din literatură de specialitate cu referire la dezvoltarea țărmului orașului Ovidiu, conservarea patrimoniului cultural, metode de analiză a datelor și o sinteză a dezvoltării urbane recente; (ii) analiză exploratorie a datelor referitoare la quadriburgium-ul de la Ovidiu provenite din diverse documente/surse și care reprezintă o recenzie a diverselor informații publicate în decursul timpului; (iii) studiu amănunțit referitor la datele existente în literatura de specialitate cu privire la mortarele de var atât din perspectivă istorică cu referire la mortarele romane, cât și din perspectiva

actuală prin analizarea normativelor în vigoare ce conțin informații legate de compozițiile de mortare și modul de preparare al acestora.

Metodele cantitative se referă la: (i) colectarea datelor referitoare la dezvoltarea orașului Ovidiu în ultimii 20 de ani, analiza și interpretarea acestora, precum și realizarea unei hărți în care să fie evidențiate zonele de dezvoltare în contextul regenerării urbane; (ii) prelevarea probelor de mortar utilizate la realizarea zidăriei în sit-ul arheologic din Ovidiu, determinarea caracteristicilor fizice și chimice ale acestora și interpretarea rezultatelor. Datele se referă în special la caracteristicile fizice, precum rezistența la compresiune, porozitate, absorbție de apă, precum și compoziție chimică și mineralogică a mortarelor utilizate; (iii) prepararea diferitelor compoziții de mortar utilizând ca și liant varul și încercarea acestora pentru a determina caracteristicile fizice și chimice în vederea realizării unei comparații pentru a evidenția care este cea mai potrivită pentru a fi folosită la lucrările de reabilitare viitoare.

Informațiile referitoare la stadiul actual al cunoașterii în domeniul regenerării urbane atât la nivel global, cât și la nivelul țării noastre, a fost necesar un studiu detaliat al literaturii în domeniu, cât și a unui număr semnificativ de articole științifice având ca temă regenerarea urbană și dezvoltarea durabilă. În urma consultării materialelor menționate mai sus, am putut realiza o sinteză asupra situației actuale, precum și a evoluției termenului de regenerare urbană, dar și a conceptului în sine la nivel de țară și internațional.

Pentru a realiza o retrospectivă asupra modalității în care a evoluat țărmul orașului Ovidiu în ultimii ani, precum și o scurtă istorie a orașului, a fost nevoie de o cercetare amănunțită a unei serii de documente cu privire la dezvoltarea orașului cum ar fi: documente administrative, articole, cărți de specialitate, rapoarte de cercetare arheologică [29, 34]. De asemenea, o serie de imagini satelitare capturate de-a lungul mai multor ani a fost utilizată pentru a identifica principalele zone de dezvoltare ale orașului Ovidiu, iar cu ajutorul softurilor de tip GIS s-a putut realiza o hartă pe care sunt evidențiate aceste zone.

Pentru prelevarea probelor de mortar am folosit un ciocan și o daltă și s-a încercat desprinderea unor bucăți cât mai mari pentru a le putea prelucra ulterior. Mostrele de mortar prelevate au o formă neuniformă și variază în dimensiuni de la 7 la 17 cm. Cetatea a fost reconstruită în mod substanțial, prin urmare, accesul la probele de mortar vechi a fost limitat, însă s-a reușit prelevarea acestora din mai multe locații și anume: turnul C, turnul D și cele două laturi

situate între turnurile C și D și turnurile D și A, unde lucrările de restaurare nu au fost încă finalizate.

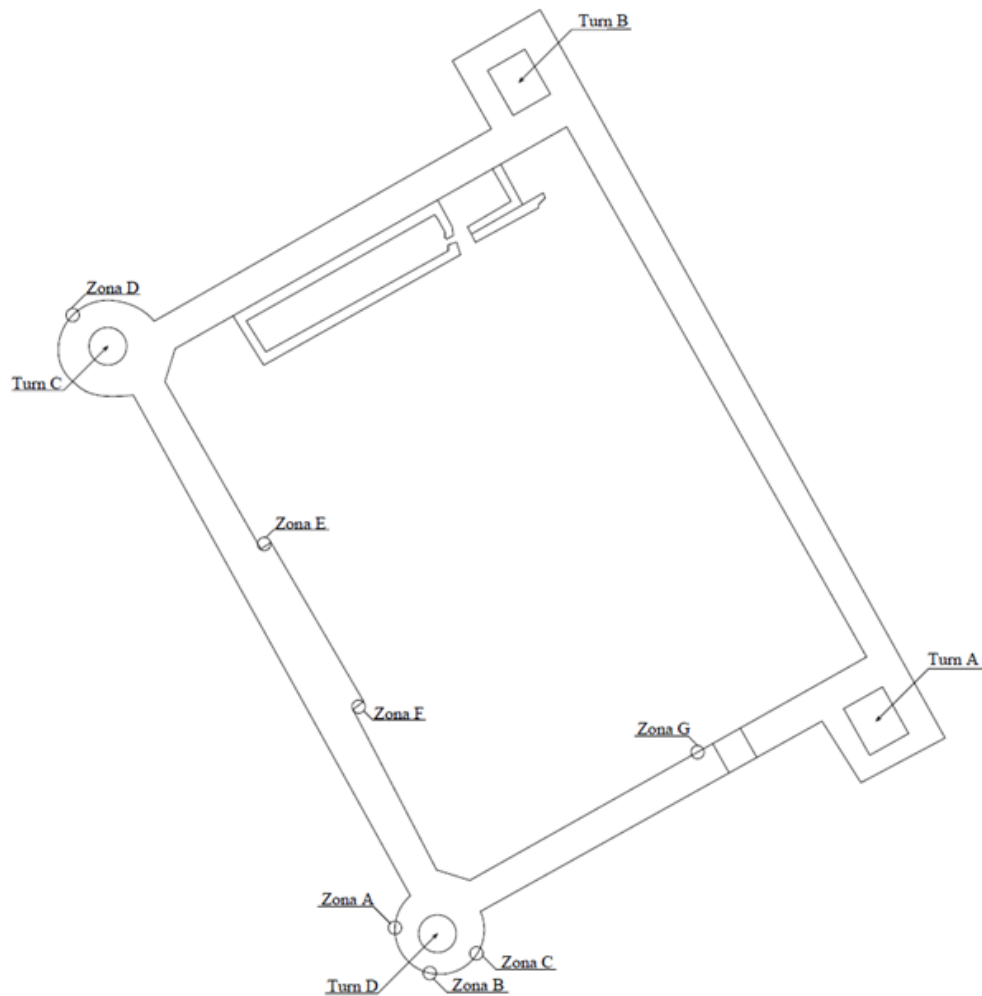


Figura 3 Schiță a fortificației cu indicarea locurilor de prelevare a probelor de mortar

În vederea îndeplinirii scopului acestei teze și anume, găsirea unei compoziții de mortar de var cu proprietăți cât mai apropiate de cele ale mortarelor utilizate de romani la realizarea castrului, am realizat 9 compoziții de mortare (o compoziție contemporană pe bază de ciment și 8 compoziții diferite pe bază de var). Pentru a le putea compara cu mortarul roman, compozițiile au fost realizate și turnate în forme standardizate pentru a putea obține epruvete prismatice cu dimensiunile de 40x40x160mm. Compozițiile sunt următoarele:

- Compoziție de mortar pe bază de ciment – R1
- Compoziție de mortar pe bază de var stins pastă – R2
- Compoziție de mortar pe bază de var nestins bulgări – R3
- Compoziție de mortar pe bază de var stins hidratat în care 5% din masa de agregat a fost înlocuită cu deșeu obținut prin măcinarea mortarelor prelevate de la castrul roman – R4
- Compoziție de mortar pe bază de var stins hidratat în care 10% din masa de agregat a fost înlocuită cu deșeu obținut prin măcinarea mortarelor prelevate de la castrul roman – R5
- Compoziție de mortar pe baza de var stins hidratat în care 15% din masa de agregat a fost înlocuită cu deșeu obținut prin măcinarea mortarelor prelevate de la castrul roman – R6
- Compoziție de mortar pe baza de var nestins bulgări în care 5% din masa de agregat a fost înlocuită cu deșeu obținut prin măcinarea mortarelor prelevate de la castrul roman – R4'
- Compoziție de mortar pe baza de var nestins bulgări în care 10% din masa de agregat a fost înlocuită cu deșeu obținut prin măcinarea mortarelor prelevate de la castrul roman – R5'

Compoziție de mortar pe baza de var nestins bulgări în care 15% din masa de agregat a fost înlocuită cu deșeu obținut prin măcinarea mortarelor prelevate de la castrul roman - R6'

3. Stadiul actual al cunoașterii cu privire la mortare în domeniul construcțiilor

Mortarele sunt geomateriale compozite (adică materiale geologice sau materiale derivate din transformări tehnice ale materialelor geologice) alcătuite din agregate, aditivi care reacționează cu liantul hidraulic sau aerian și liantul însuși, care suferă modificări în timpul procesului de întărire [5, 13].

În general, mortarele sunt alcătuite dintr-o combinație de agregate și lianți care sunt unice pentru locația structurii și pentru cadrul istoric în care au fost create. Studiul mortarelor oferă informații despre materiile prime, originea lor și procedurile de fabricare [10, 12, 22]. Cu ajutorul

caracteristicilor mortarelor, este posibilă determinarea secvențelor istorice ale construcțiilor [14, 18, 23] și a vârstelor structurilor în sine [2, 15, 20, 21, 24].

Sursa principală antică pe care o avem la dispoziție cu privire la mortarele romane se regăsește în lucrarea lui Vitruviu Marcus Polo, arhitect și inginer roman, elaborată în aproximativ 30 î.e.n. și intitulată *De Arhitectura*. În cartea a II-a acesta descrie materialele principale folosite în construcții: nisip, calcar, pozzolana, piatra, precum și tehnologii de construcții. „Mortarul Imperial” așa cum l-a descris Vitruvius în *„de Arhitectura”*, [17] este un amestec de nisip, var și apă. În perioada primei Republici Romane, Cato cel Bătrân în *de Agri Cultura* [28] descrie mortarul ca fiind „calx harenatus” adică un amestec de var și nisip.

În ziua de azi, mortarele sunt foarte variate și pot fi clasificate în funcție de o serie de factori, deoarece fiecare dintre ele îndeplinește o anumită funcție și are roluri bine definite. Conform standardelor în vigoare :”SR EN 998-1:2011 – Specificație a mortarelor pentru zidărie: Mortare pentru tencuire și gletuire”, [32] respectiv “SR EN 998-2:2011 – Specificație a mortarelor pentru zidărie: Partea 1 Mortare pentru zidărie”, [33] în funcție de domeniul de utilizare, putem deosebi mortare de zidărie, mortare de tencuială – exterioară sau interioară și mortare speciale.

Principala caracteristică pe care trebuie să o îndeplinească mortarele este rezistență la compresiune, aceasta fiind proprietatea de bază a acestora.

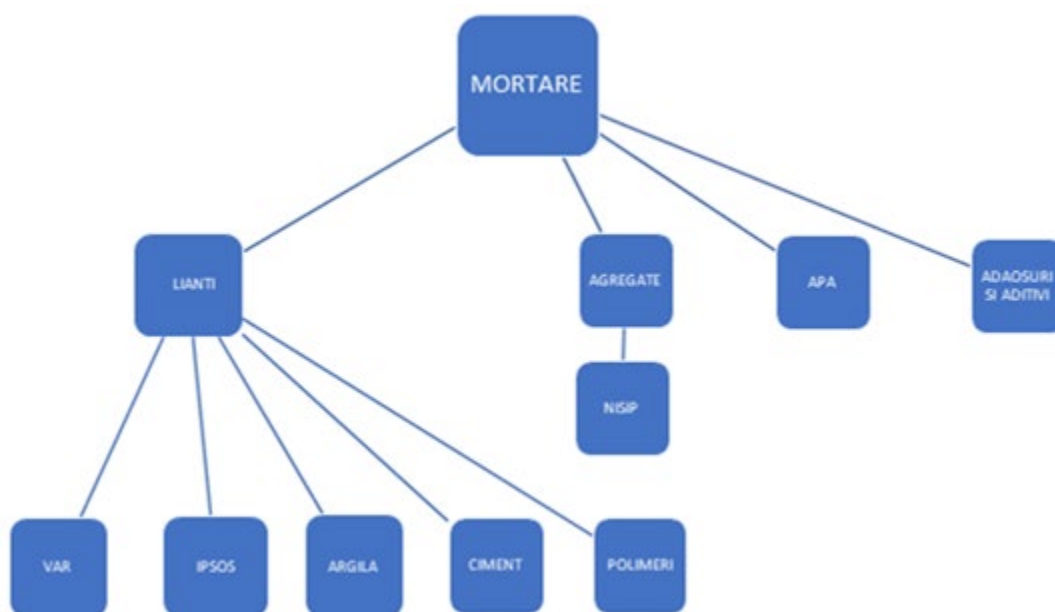


Figura 4 Materiale componente ale mortarelor [16]

Tabelul 1 – Clasificarea mortarelor contemporane în funcție de rezistența la compresiune

Tip mortar		Rezistența la compresiune [N/mm ²]
Mortare de zidărie	M 1	1
	M 2.5	2.5
	M 5	5
	M 10	10
	M 15	15
	M 20	20
	M d	d – este o rezistență la compresiune declarată de producător și mai mare de 25 N/mm ²
Mortare de tencuială	CS I	0.4-2.5
	CS II	1.5-5.0
	CS III	3.5-7.5
	CS IV	≥6.0

Pentru prepararea mortarelor, principalele materiale utilizate sunt liantul, nisipul, apă și în unele cazuri adaosuri, sau aditivi.

Lianții folosiți la realizarea mortarelor sunt varul, argila, ipsosul, cimentul Portland și unii polimeri utilizați la mortarele speciale. Tipul liantului utilizat se stabilește în funcție de domeniul de utilizare, rolul, sau destinația mortarului, precum și proprietățile fizice, chimice, sau mecanice pe care acesta trebuie să le aibă [16].

Nisipul reprezintă 75-80% din volumul de mortar și influențează simțitor proprietățile mortarului atât în stare proaspătă, cât și în stare întărită. Diametrul maxim al granulei poate fi de 8 mm, astfel la prepararea mortarelor sunt utilizate următoarele sorturi de nisip: 0/1; 0/4; 0/8mm [16].

Granulozitatea nisipului reprezintă o caracteristică esențială ce are un efect notabil asupra caracteristicilor mortarului. Granulozitatea poate fi reprezentată prin curba granulometrică a nisipului ce trebuie să se încadreze în curbele limita date de standarde.

Apa pentru prepararea mortarului poate fi apă potabilă, sau nepotabilă. Dacă este utilizată apa de mare, mortarul realizat nu va fi aplicat în contact cu suprafețe metalice pentru a preveni coroziunea acestora [16].

Adaosurile și aditivii, se adaugă în cantități mici și foarte mici în masa mortarului (adaosuri 1-5% din masa liantului, aditivi 0,01-0,03% din masa liantului) și au rolul de a îmbunătăți anumite proprietăți ale mortarului.

4. Descrierea zonei de studiu

Orașul Ovidiu este situat în Dobrogea, la 11 km nord de municipiul Constanța, pe țărmul lacului Siutghiol (Figura 5).

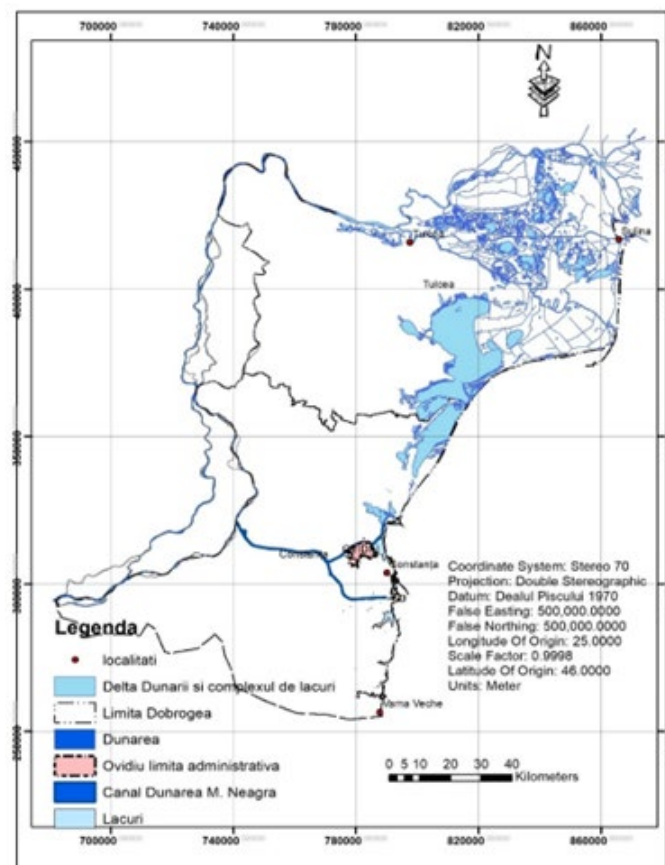


Figura 5 Poziționarea Orașului Ovidiu

Deși are o istorie străveche, aceasta este pusă în valoare foarte puțin și nici nu este ușor disponibilă. Este motivul pentru care încercăm în cele ce urmează să reunim principalele scrieri despre actualul oraș Ovidiu, cel care și-a luat numele încă din 1930 după poetul Publius Ovidius Naso, și a devenit oraș abia în anul 1989.

Astăzi, din punct de vedere administrativ, UAT Ovidiu are în alcătuire două localități: orașul Ovidiu și localitatea Poiana. În conformitate cu site-ul primăriei Ovidiu, se pare că localitatea Ovidiu ar fi fost înființată în anul 1650, sub numele Siliște, dar primăria nu oferă un document care să ateste această afirmație.

Din punct de vedere morfologic zona Dobrogei este alcătuită din două unități morfologice mari: Podișul Dobrogei și Lunca, Delta, câmpia și complexul lagunar Razim-Sinoe. În zona studiată a UAT (Unitate Administrativ Teritorială) Ovidiu relieful variază între 0 și 140m (figura 6).

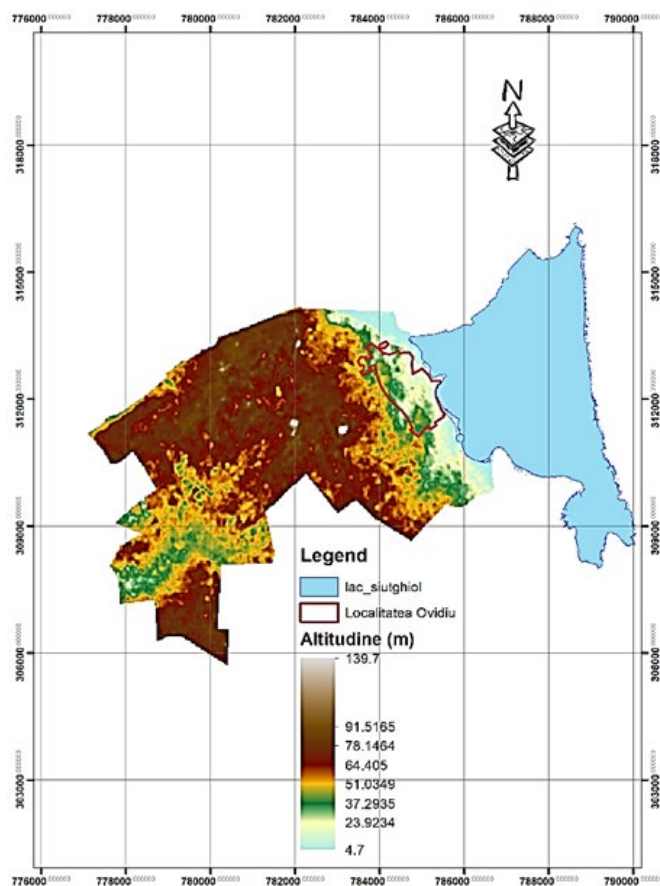


Figura 6 Modelul digital de teren pentru UAT Ovidiu

Din punct de vedere geologic, UAT Ovidiu se regăsește între Falia Peceneaga la nord și Falia Palazu la sud. În general geologia zonei este alcătuită în mare parte din depozite loessoide. În zona lacului există la zi depozite de calcare și cretă cu silex. În nordul zonei există formațiuni de calcare dolomitice.

Cel mai important element hidrografic al zonei este fără îndoială lacul Siutghiol. Suprafața de recepție a lacului este de 73,7km². Caracteristicile morfometrice principale ale lacului, sunt: suprafața 1900ha, lungimea liniei țărmului 30km. Lungimea mediană 8km, lățimea maximă 4km, lățimea minimă 2,5m adâncimea maximă 17,05, adâncimea medie 4,65 și adâncimea față de marea neagră -14,90m. Din calculele de bilanț efectuate de Nicolae Tatiana [59], aportul subteran în lacul Siutghiol se ridică la peste 1200 l/s.

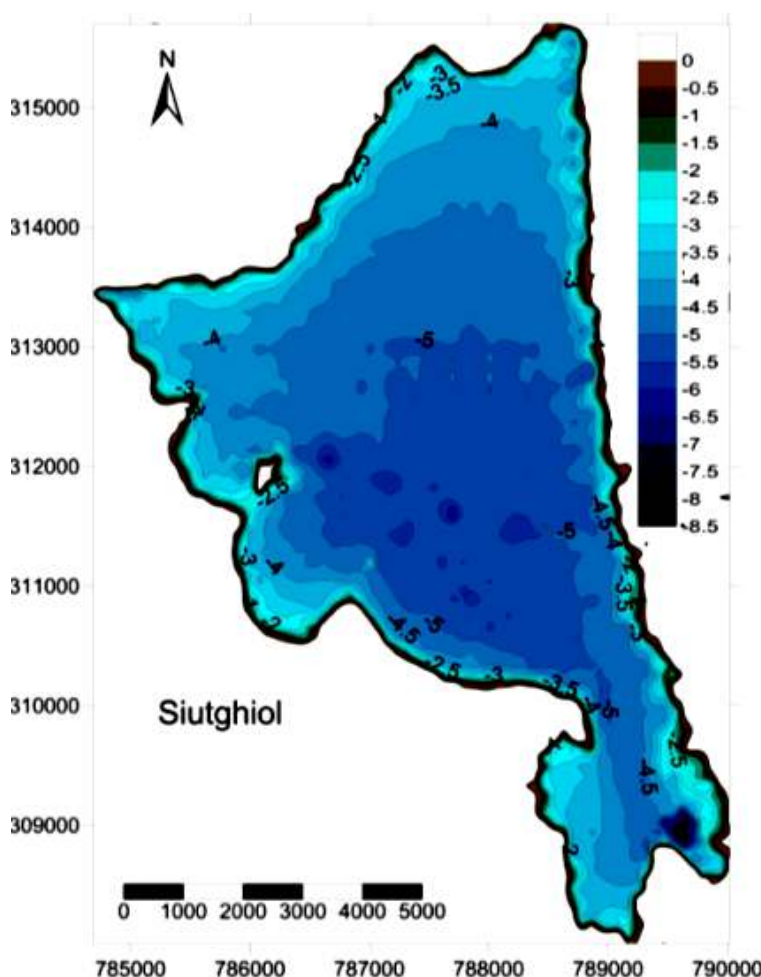


Figura 7 Lac Siutghiol – hartă batimetrică

În orașul Ovidiu se află și zona noastră de interes, anume, locația sit-ului arheologic “Castrul Roman”, zonă din care am prelevat materialele necesare analizei, precum și o parte din apeductul roman ce alimenta vechea cetate Tomis, actualul oraș Constanța.

Apeductele romane sunt construcții hidrotehnice construite cu scopul de a alimenta cu apă marile orașe [7–9]. Construcția apeductelor a fost realizată de către armată și experți în hidraulică [4].

Din cercetările și studiile realizate [26], reiese faptul că cetatea Tomis a fost alimentată cu apă potabilă prin două metode și anume cea a apeductelor din afară cetății ce aduceau apa captată din izvoarele subterane și prin galeriile-rezervor captante din interiorul cetății, realizate cu fundul drenant pentru captarea și filtrarea apei din pânză freatică. Apeductul ce aducea apă de la sursa de la Ovidiu, de pe malul lacului Siutghiol, menționat în studiile realizate de C. Allard și J. Michel de la mijlocul secolului al XIX-lea, a fost analizat în repetate rânduri de către Gh.Papuc [27] și M.Bucovală [25], dovada fiind publicațiile acestora referitoare la descoperirile arheologice ce se întind de pe malul lacului Siutghiol, până în Constanța în zona Pescărie și plaja Modern.

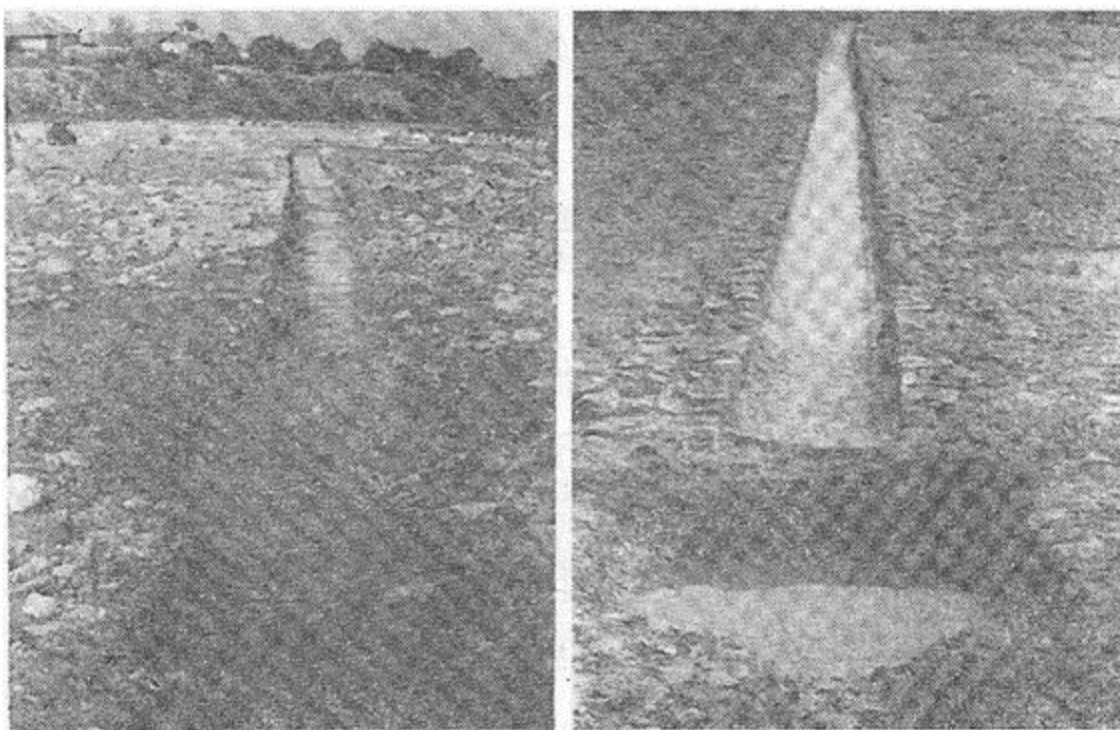


Figura 8 Imagine a cuvetei apeductului în apropierea golfului lacului Siutghiol [27]

Situl arheologic se află la periferia sudică a localității Ovidiu, la circa 10 kilometri nord de Constanța. Acesta se află într-o zonă rezidențială nou creată pe malul vestic al lacului Siutghiol (figura 9), care a fost inițial Golful Mării Negre. Apropierea sitului de insula Ovidiu îl face o zonă importantă pentru mai multe cercetări și explorări. Datorită apropierii sitului de o zonă rezidențială, acesta este ușor accesibil pentru cercetare și în scopuri educaționale, permițând o mai bună cunoaștere și înțelegere de către public a patrimoniului cultural și a istoriei regiunii. Situl arheologic de la Ovidiu oferă o șansă rară de a cerceta istoria bogată a zonei și de a o păstra pentru generațiile viitoare. Locația are potențialul de a deveni o atracție semnificativă și o resursă utilă pentru comunitatea înconjurătoare, dacă se oferă resurse și sprijin adecvat[1, 3].



Figura 9 Locația sitului arheologic

5. Program experimental

În prezentul program experimental, s-a început prin determinarea caracteristicilor fizice și chimice ale celor 7 probe de mortar prelevate de la castrul Roman din orașul Ovidiu, în vederea realizării unei comparații între proprietățile acestora și cele ale mortarelor realizate în laborator.

În continuare, au fost realizate 9 noi compoziții de mortar din care o compoziție de mortar pe bază de ciment și 8 de mortar pe bază de var. Pentru fiecare compoziție au fost turnate câte 3 tipare cu 3 epruvete prismatice pentru a fi supuse la încercarea de determinare a rezistenței la compresiune la 30, 60 și 90 de zile, pentru mortarele de var, respectiv 7, 14 și 28 de zile pentru mortarele de ciment.

Mortarele de var încercate la 90 de zile, au fost mai departe supuse la diferite analize în vederea determinării proprietăților chimice și mineralogice.

În final, rezultatele obținute pe mortarele noi au fost comparate cu cele ale mortarelor utilizate la sit-ul arheologic în vederea determinării compoziției celei mai adecvate pentru a fi utilizată la lucrările de reabilitare a monumentelor istorice.

Mostrele de mortar prelevate de la fortificația romana au avut forme neregulate, având dimensiuni cuprinse între 7 și 17 cm. Pentru a putea fi testate, a fost necesară o prelucrare a acestora cu scopul de a le aduce cât mai aproape de dimensiunile standard ale epruvetelor de mortar. În urma prelucrării au fost obținute 3 prisme de mortar, numerotate cu A, B și C, obținute din prelucrarea mostrelor prelevate.



Figura 10 Mostrele de mortar neprelucrate

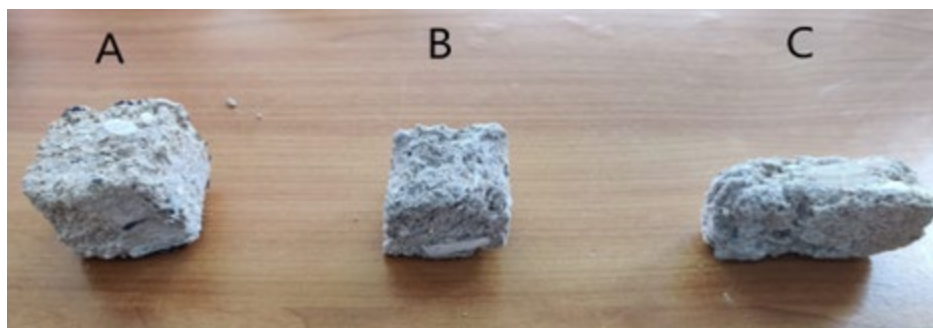


Figura 11 Prismele de mortar prelucrate

Tabelul 2. Volumul măsurat al celor 3 epruvete

Proba	Volum inițial [cm ³]	Volum final [cm ³]	Volumul probei [cm ³]	Masa probei [kg]
A	500	581	81	0.1174
B	500	554	54	0.0889
C	500	556	56	0.0831

Utilizând informațiile din tabelul precedent, am determinat următoarele densități aparente pentru exemplarele A, B și C:

- Proba A - 1467,5 kg/m³

- Proba B - 1646,3 kg/m³

- Proba C - 1483,9 kg/m³

În urma încercării pentru determinarea rezistenței la compresiune a epruvetelor, doar pentru epruvetele A și B am obținut valori, în timp ce epruveta C, neavând suprafața conformă, presa nu a putut afișa rezistența la compresiune. Pentru epruvetele A și B am obținut o rezistență medie de 0,6 MPa.

Pentru a efectua analiza mineralogică prin difracție de raze X (XRD), probele de mortar au fost zdrobite cu grijă într-un mojar, permițând segregarea agregatelor de matricea de construcție, dar încercând să se evite zdrobirea agregatelor (de exemplu, a granulelor de nisip) , iar pulberea a

fost separată de agregate prin cernere. Probele au fost hetero-genetice, iar agregatele au prezentat forme, dimensiuni și culori diferite.

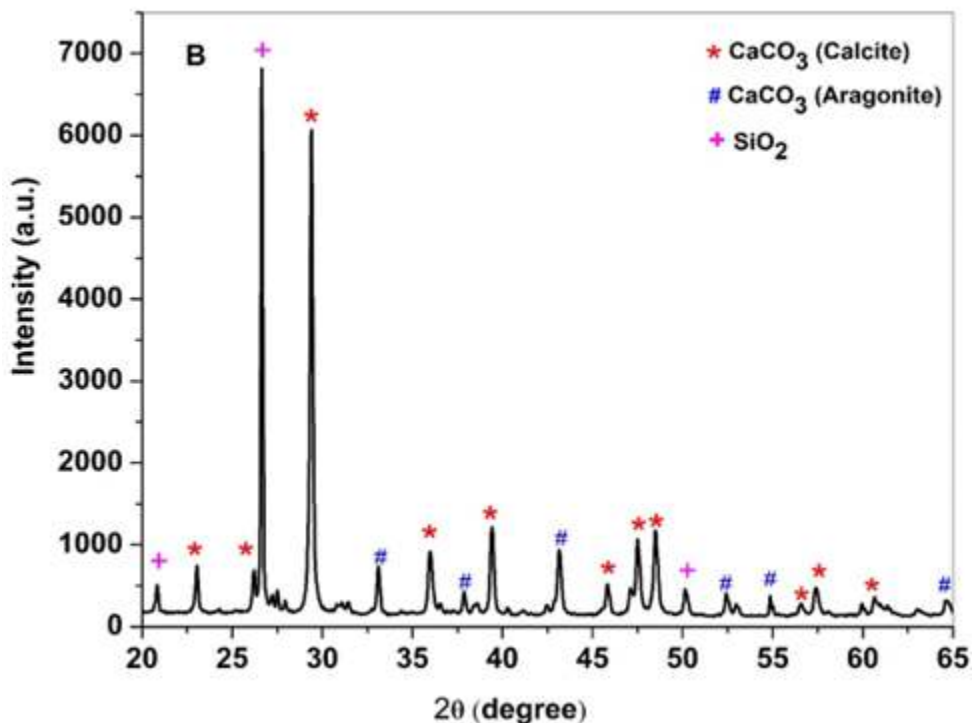


Figura 12 Imagine de difracție pentru proba B

Probele sunt similare, cuarțul fiind faza mineralogică predominantă, urmată de calcit. Acest lucru poate indica o compoziție convențională a mortarului, cu calcit ca liant și cuarț ca schelet; studiul relevă faptul că calcitul amestecat cu cuarț (siliciu) a fost un amestec obișnuit pentru mortare înainte de utilizarea pe scară largă a mortarelor.

Rezultatele XRD (difracție de raze X) au arătat că sunt prezente mai multe faze cristaline (tabelul 3). Maximele de difracție corespund unui amestec de carbonat (calcit) și agregate silicioase. Principalele maxime de difracție au fost atribuite carbonatului de calciu (calcit - ICDD 00-081-2027, aragonitului - ICDD 00-003-1067), oxidului de siliciu (quartz - ICDD 00-077-1060) și ankerit (ICDD 00-041-0586).

Tabelul 3. Analiza semicantitativă XRD a probelor de mortar A-G

Proba	Faza cristalina	Abundenta
A	CaCO ₃ (Calcite)	+++
	CaCO ₃ (Aragonite)	++
	SiO ₂ (Quartz)	+
	Ca(Fe,Mg)(CO ₃) ₂ (Ankerite)	-
B	CaCO ₃ (Calcite)	+++
	CaCO ₃ (Aragonite)	+
	SiO ₂ (Quartz)	+++
	Ca(Fe,Mg)(CO ₃) ₂ (Ankerite)	-
C	CaCO ₃ (Calcite)	+++
	CaCO ₃ (Aragonite)	++
	SiO ₂ (Quartz)	+++
	Ca(Fe,Mg)(CO ₃) ₂ (Ankerite)	+
D	CaCO ₃ (Calcite)	+++
	CaCO ₃ (Aragonite)	+
	SiO ₂ (Quartz)	+
	Ca(Fe,Mg)(CO ₃) ₂ (Ankerite)	-
E	CaCO ₃ (Calcite)	+++
	CaCO ₃ (Aragonite)	-
	SiO ₂ (Quartz)	++
	Ca(Fe,Mg)(CO ₃) ₂ (Ankerite)	-
F	CaCO ₃ (Calcite)	+++
	CaCO ₃ (Aragonite)	-
	SiO ₂ (Quartz)	+
	Ca(Fe,Mg)(CO ₃) ₂ (Ankerite)	-
G	CaCO ₃ (Calcite)	+++
	CaCO ₃ (Aragonite)	-
	SiO ₂ (Quartz)	++
	Ca(Fe,Mg)(CO ₃) ₂ (Ankerite)	-

+++ Abundent, ++ prezent, + în cantitate mică, - nedetectabil

Fluorescența cu raze (XRF) a permis determinarea elementelor majore sub formă oxidică, (CaO, MgO, Al₂O₃, SiO₂, Fe₂O₃, P₂O₅, K₂O, MnO și SO₃) și oligoelemente exprimate în ppm (părți pe milion): Ti, V, Cr, Ni, Cu, Zn, Pb, Ga, Ge, As, Ba, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ce și Sn (Tabelul 4).

Tabelul 4. Analiza XRF a probelor de mortar prelevate din zidurile sitului arheologic al fortificației romane

Oxid (%)	Proba						
	A	B	C	D	E	F	G
CaO	62.83	52.57	55.99	59,03	53,42	57,80	57,20
MgO	6.85	6.25	7.13	6,34	7,11	6,06	7,29
Al₂O₃	0.87	1.20	2.33	1,15	1,59	1,14	1,50
SiO₂	9.42	14.26	12.54	9,69	8,94	9,25	7,95
Fe₂O₃	1.11	0.49	0.89	1,772	0,934	0,685	0,804
P₂O₅	0.06	0.10	0.16	0,07	0,13	0,11	0,12
K₂O	0.23	0.28	0.64	0,32	0,49	0,36	0,46
MnO	0.03	0.02	0.04	0,035	0,031	0,026	0,03
SO₃	0.06	0.07	0.10	0,05	0,087	0,067	0,107
Oligoelemente (ppm)							
Ni	n.d.	3.20	12.09	6,55	9,16	6,51	7,07
Cu	34.27	30.45	33.11	8,96	9,15	6,71	5,59
Zn	36.76	52.2	122	27,60	38,34	63,8	30,37
Ga	2.25	2.51	4.13	2,68	4,52	2,37	2,76
Ge	0.400	n.d.	0.470	0,341	n.d.	n.d.	n.d.
As	1.62	1.71	3.41	3,71	4,10	2,43	2,97
Ba	91.7	141	151	137	166	183	165
Br	5.03	7.12	11.02	5,88	8,46	7,90	8,74
Rb	10.92	10.10	21.46	16,90	22,78	18,47	20,30
Sr	812	742	654	524	315	342	437

Y	7.62	7.97	10.55	14,17	12,87	10,05	14,60
Zr	36.56	24.01	102	34,34	85,1	59,1	70,1
Nb	n.d.	2.41	3.43	2,21	4,02	3,08	2,76
Pb	3.18	3.60	8.13	4,64	7,49	4,71	6,07
Ce	n.d.	27.64	n.d.	n.d.	n.d.	42,53	n.d.
Sn	n.d.	1.10	n.d.	n.d.	1,50	1,49	3,15
Pierdere la calcinare (PC)	18.53	24.75	20.19	21,54	27,27	24,50	24,54
Index de hidraulicitate (HI)	0.16	0.29	0.27	0,18	0,20	0,18	0,17
Index de cimentare (CI)	0.39	0.68	0.58	0,44	0,43	0,42	0,36

Caracteristicile microstructurale ale mortarelor au fost determinate prin analiză SEM-EDX. Microscopia electronică de scanare (SEM) a fost utilizată pentru a vizualiza morfologia și relațiile texturale ale diferitelor faze minerale identificate prin XRD.

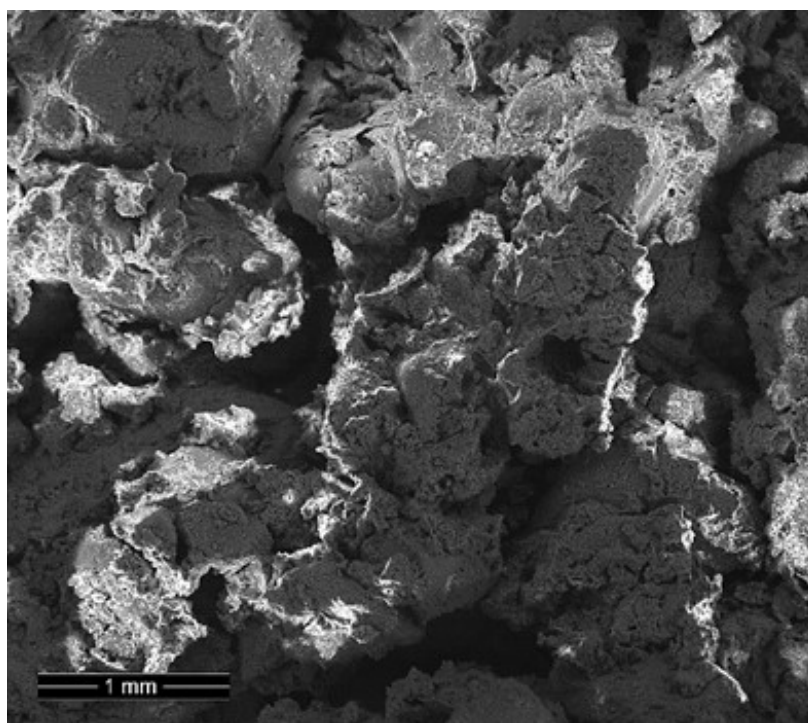


Figura 13 Imagini de microscopie electronică de scanare pentru proba B

În probele de mortar este prezent un amestec de granule mari și mici cu diferite morfologii. Investigația SEM arată o matrice a mortarului pe bază de var calcaros care este în concordanță cu informațiile din literatura de specialitate [11].

Analiza termică (TGA-DTA) a evidențiat o pierdere totală de masă în mortarele investigate între 32% și 37%, precum și unele efecte endotermice. Efectul endotermic al temperaturilor cuprinse între 30 și 300 de grade Celsius este atribuit, de obicei, proceselor de pierdere a apei legate fizic și de pierdere a apei legate de componentele hidraulice. Tabelul 5 prezintă pierderile de greutate (%) ale probelor de mortar A-G.

Tabelul 5. Pierderi de masă (%) ale probelor de mortar A-G.

Indicativ proba	Temperatura (°C)			Pierdere totală de masa (%)
	35 – 660	660 – 860	860 – 1000	
A	4,115	32,578	0,285	36,978
B	3,687	32,406	0,183	36,275
C	4,329	27,450	0,248	32,028
D	4,997	32,373	0,402	37,773
E	7,038	26,881	0,463	34,382
F	4,891	31,215	0,516	36,622
G	5,448	28,637	0,599	34,685

6. Interpretarea rezultatelor

În urma centralizării rezultatelor obținute din încercarea epruvetelor pentru determinarea rezistenței la compresiune, am realizat o serie de grafice menite să faciliteze interpretarea acestor date.



Figura 14 Rezistența la compresiune pentru R2-R6' la 30 de zile

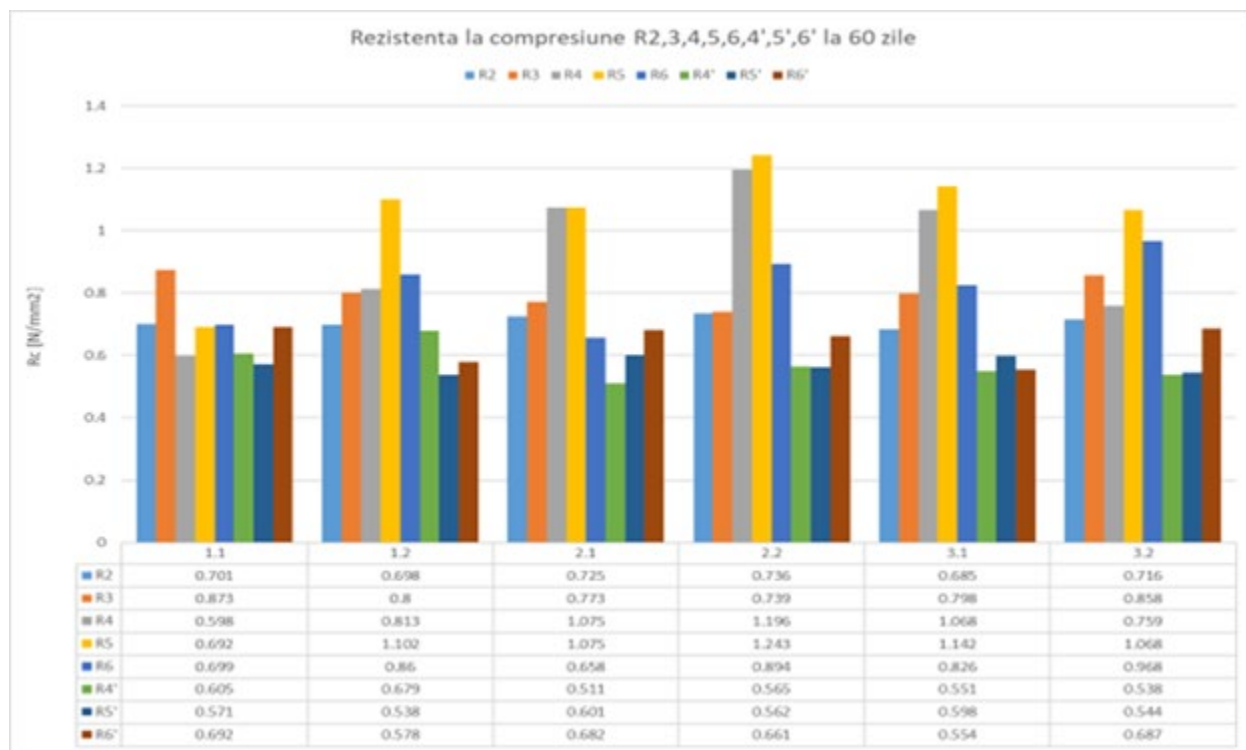


Figura 15 Rezistența la compresiune pentru R2-R6' la 60 de zile

Prin compararea tuturor valorilor rezistențelor la compresiune pentru compozițiile R2-R6' încercate la termenul de 30 de zile, putem observa că acestea au valori destul de apropiate, în timp ce la termenul de 60 de zile, putem vedea că valorile compozițiilor R2-R6 au valori mai mari decât cele ale compozițiilor R4'-R6', bazate pe var nestins.

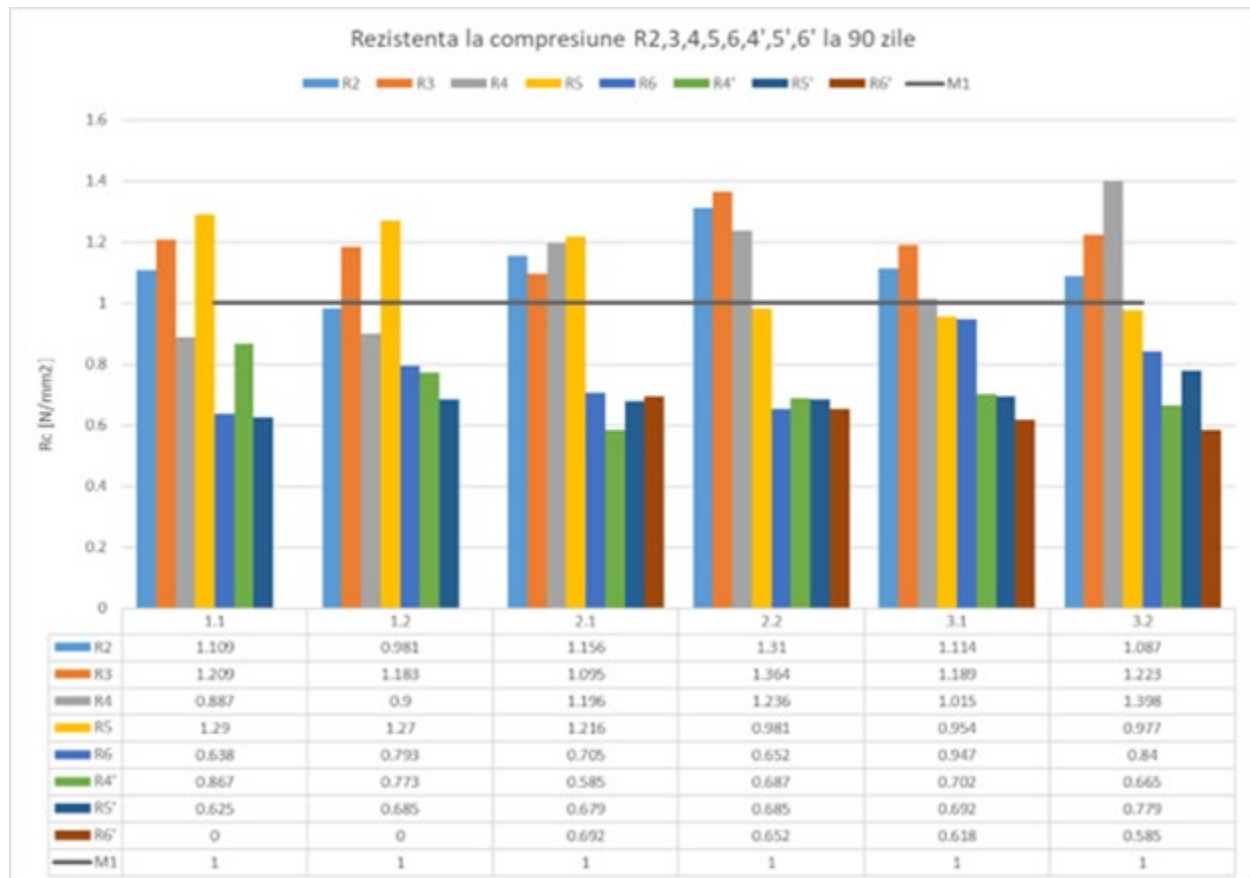


Figura 16 Rezistența la compresiune pentru R2-R6' la 90 de zile

La termenul de 90 de zile, vedem că doar mortarele de compoziții R2-R5 au mai avut creșteri semnificative față de valorile precedente și doar mediile acestor mortare trec de pragul de 1 N/mm^2 , putând fi încadrate în clasa de mortar M1.

După studiul imaginilor rezultate prin utilizarea microscopiei electronice (SEM), am ajuns la concluzia că în probele de mortar realizate este prezent un amestec de granule mari și mici cu diferite morfologii. Investigația SEM arată o matrice de carbonat de calciu în structura mortarului investigat care este în concordanță cu informațiile din literatura de specialitate [11].

În urma analizei termice realizate și a observării graficelor rezultate, am centralizat într-un tabel pierderile de masă procentuale pentru fiecare din cele 8 probe studiate, pe intervalele de temperatură utilizate.

Rezultatele au fost centralizate și evidențiate în tabel cu două culori în funcție de tipul de var utilizat la realizarea compoziției de mortar, var nestins, pentru prima parte a tabelului, respectiv var stins, pentru a doua jumătate a tabelului.

Tabelul 6 Centralizarea rezultatelor analizei termice

Indicativ probă	Temperatura (°C)					Pierdere totală de masa (%)
	30 – 420	420 – 500	500 – 650	650 – 850	850 – 1000	
R3	1,067	1,144	0,818	14,407	0,308	17,744
R4'	1,178	2,349	0,747	12,090	0,346	16,711
R5'	0,671	2,089	0,662	10,710	0,298	14,429
R6'	0,766	2,278	0,719	12,162	0,308	16,233
R2	0,505	0,787	0,668	6,761	0,230	8,950
R4	0,519	0,843	0,853	11,213	0,333	13,761
R5	0,599	0,892	0,699	10,095	0,278	12,564
R6	0,320	1,341	0,918	12,317	0,404	15,300

Un alt pas în interpretarea rezultatelor a fost realizarea raportului dintre procentul de dioxid de carbon și apa legată structural, $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$, raport ce ne oferă informații referitoare la hidraulicitatea mortarelor.

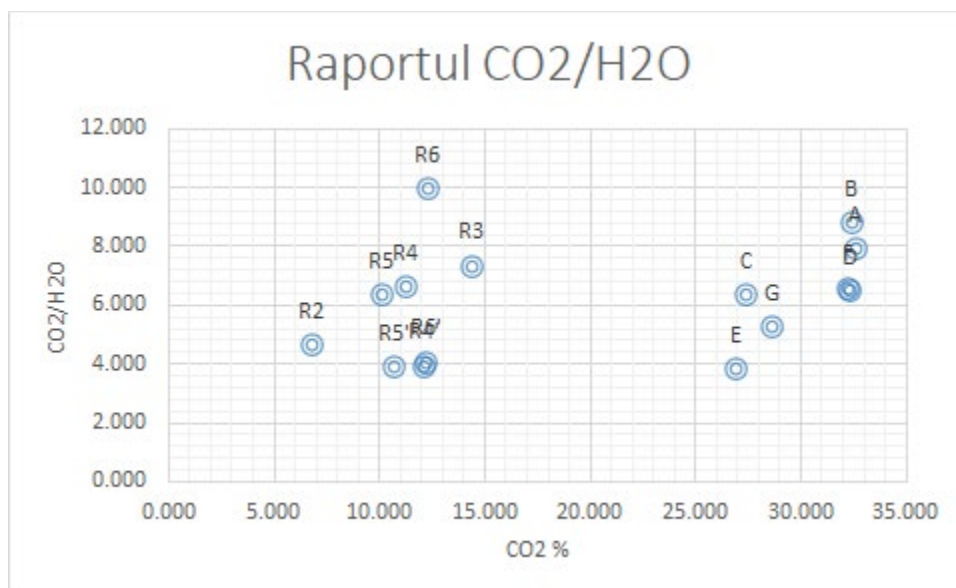


Figura 17 Raportul CO₂/H₂O

Din figura de mai sus se poate observa o diferențiere clară între mortarele prelevate de la Castrul Roman și cele preparate în laborator din punct de vedere al procentului de dioxid de carbon, în timp ce din punct de vedere al raportului CO₂/H₂O, putem observa că toate probele se situează în intervalul 3-10.

7. Concluzii

Această lucrare studiază în principal mortarul ca material de construcții, începând cu istoria și evoluția sa până în perioada contemporană și ajungând la o abordare în detaliu prin cercetarea proprietăților mecanice și chimice ale mortarelor.

Tema de cercetare are ca obiectiv identificarea unor compoziții de mortare pe bază de var sub diverse forme ca potențiali candidați pentru lucrările de reabilitare a construcțiilor de tip monument istoric din cadrul zonelor istorice, dar și posibilitatea reutilizării materialelor recuperate în procesul de restaurare prin introducerea unui procent din deșeurile recuperate în noile compoziții de mortar.

Nu în ultimul rând, o deosebită importanță o deține tendința de dezvoltare durabilă, context în care, în această cercetare ne-am ocupat de colectarea datelor cu referire la dezvoltarea întregii

zone de studiu de-a lungul mai multor ani, având ca scop evidențierea valorii patrimoniului cultural și a fenomenului de regenerare urbană în evoluția unui oraș.

Prezentul studiu se focalizează pe contabilizarea și interpretarea rezultatelor obținute în urma încercărilor efectuate atât asupra mostrelor de mortar prelevate de la sit-ul arheologic Castrul Roman din orașul Ovidiu, cât și asupra noilor compoziții de mortar realizate în laborator.

Mortarele de zidărie au o importanță deosebită deoarece acestea asigură conlucrarea între blocurile pentru zidărie, iar în cazul nostru, pe lângă rolul structural, fiind utilizate la lucrările de restaurare a monumentelor, mai există și condiția aspectului vizual și a păstrării în proporție cât mai mare a caracteristicilor materialelor utilizate precedent.

Pentru a obține rezultate cât mai relevante, au fost selectate atent tipurile de încercări la care au fost supuse mortarele studiate.

În contrast cu rețeta clasică de mortar pe bază de ciment, proprietățile mortarelor pe bază de var sunt mult mai dificil de urmărit, deoarece varul are o influență semnificativă asupra caracteristicilor finale ale materialului prin reacția sa puternic exotermă în contact cu apa, mai ales în cazul varului nestins.

În ideea de a diminua consumul de materiale, precum și nivelul de poluare realizată prin depozitarea materialelor rezultate din procesul de restaurare, am gândit un set de compoziții de mortar pe bază de var stins și var nestins, în care am înlocuit o parte din agregat cu deșeu măcinat obținut din materialele vechi extrase.

Dificultatea a fost reprezentată de faptul că, în cazul varului nestins utilizat în compozițiile de mortar, literatura și standardele din domeniu nu prevăd rețete ținând cont că varul utilizat în prezent în mortare este varul stins hidratat.

Contribuții personale

Realizarea unui studiu interdisciplinar privind dezvoltarea zonei de studiu în contextul regenerării urbane durabile și a utilizării unor noi compoziții de mortar pe bază de var pentru lucrările de reabilitare a monumentelor istorice.

Dezvoltarea unor hărți de interes referitoare la principalele aspecte ale zonei noastre de studiu, anume Unitatea Administrativ Teritorială a orașului Ovidiu:

- 1.Harta cu amplasamentul UAT Ovidiu
- 2.Harta cu limita administrativ teritorială a orașului Ovidiu
- 3.Harta ce conține modelul digital de teren pentru UAT Ovidiu
4. Două hărți referitoare la zonarea geologică a UAT Ovidiu, precum și un detaliu privind geologia în proximitatea lacului Siutghiol
- 5.Harta batimetrică a lacului Siutghiol
- 6.Harta vegetației din zona UAT Ovidiu
- 7.Harta cu zona de dezvoltare a orașului Ovidiu

Elaborarea într-un program de modelare 3D a modelului tridimensional pentru Castrul Roman de la Ovidiu.

Prelevarea unui număr de 7 probe de mortar din 4 zone diferite ale sit-ului arheologic de la Ovidiu, pentru a fi analizate din punct de vedere al caracteristicilor fizice și chimice în scopul dezvoltării unor noi compoziții de mortare compatibile.

Prelucrarea probelor prelevate în vederea efectuării încercărilor. În urma prelucrării probelor de mortar, au fost obținute 3 epruvete pentru încercările mecanice și 7 probe pentru a fi supuse analizei chimice și mineralogice. Pe cele 3 epruvete notate cu A, B și C au fost determinate densitatea aparentă, absorbția de apă și rezistența la compresiune, în timp ce pe cele 7 epruvete notate A-G, au fost efectuate XRD, XRF, SEM-EDX și TGA-ATD.

Interpretarea datelor obținute în urma încercării celor 7 probe de mortar roman, informații utilizate în continuare pentru a prepara noile compoziții de mortar pe bază de var.

Realizarea a 9 compoziții de mortar din care o compoziție clasică de mortar pe bază de ciment și 8 compoziții de mortar pe bază de var sub diferite forme după cum urmează:

1. R1 - Compoziție de mortar pe bază de ciment
2. R2 - Compoziție de mortar pe bază de var stins pastă
3. R3 - Compoziție de mortar pe bază de var nestins bulgări

4. R4 - Compoziție de mortar pe bază de var stins hidratat în care 5% din masa de agregat a fost înlocuită cu deșeu obținut prin măcinarea mortarelor prelevate de la castrul roman
5. R5 - Compoziție de mortar pe bază de var stins hidratat în care 10% din masa de agregat a fost înlocuită cu deșeu obținut prin măcinarea mortarelor prelevate de la castrul roman
6. R6 - Compoziție de mortar pe bază de var stins hidratat în care 15% din masa de agregat a fost înlocuită cu deșeu obținut prin măcinarea mortarelor prelevate de la castrul roman
7. R4' - Compoziție de mortar pe baza de var nestins bulgări în care 5% din masa de agregat a fost înlocuită cu deșeu obținut prin măcinarea mortarelor prelevate de la castrul roman
8. R5' - Compoziție de mortar pe baza de var nestins bulgări în care 10% din masa de agregat a fost înlocuită cu deșeu obținut prin măcinarea mortarelor prelevate de la castrul roman
9. R6' - Compoziție de mortar pe baza de var nestins bulgări în care 15% din masa de agregat a fost înlocuită cu deșeu obținut prin măcinarea mortarelor prelevate de la castrul roman

Pentru fiecare tip de compoziție au fost urnate câte 3 tipare a 3 epruvete, ce au fost încercate la intervale diferite de timp de la momentul turnării acestora. Mortarele R1 au fost supuse încercărilor la 7, 14 și 28 de zile, iar mortarele R2-R6' la 30, 60, respectiv 90 de zile de la momentul turnării acestora. Mortarele pe bază de ciment au fost analizate doar din perspectiva proprietăților fizico-mecanice, în timp ce toate mortarele pe bază de var au fost analizate atât din punct de vedere fizic cât și din punct de vedere chimic pentru determinarea compoziției chimice și mineralogice a acestora.

De asemenea, pentru fiecare din cele 81 de epruvete rezultate a fost realizat câte un raport de încercare unde au fost menționate compozițiile acestora, dimensiunea, densitatea aparentă și rezistența la compresiune, rapoarte prezentate în anexe.

În urma încercărilor pentru determinarea densității aparente, toate rezultatele au fost centralizate în tabele pentru fiecare compoziție în parte, apoi, pentru o mai bună înțelegere și interpretare a acestora, a fost realizat câte un grafic pentru fiecare tipar a câte 3 epruvete în parte. Densitățile aparente ale tuturor mortarelor s-au încadrat în valorile normale pentru fiecare tip în parte. Pentru mortarele pe bază de var, valorile densității aparente sunt foarte apropiate de valorile

obținute în urma încercărilor efectuate pe mortarele prelevate de la Castrul Roman, ceea ce ne indică faptul că din acest punct de vedere, toate cele 8 compoziții de mortar pe bază de var, notate de la R2 la R6', pot fi utilizate ca material pentru restaurare.

De asemenea, procedura de lucru din paragraful de mai sus, a fost aplicată și pentru rezultatele obținute în urma încercărilor pentru determinarea rezistenței la compresiune. Datele au fost centralizate atât în tabele pentru fiecare compoziție în parte, cât și sub formă de grafice pentru fiecare tipar. În cazul rezistenței la compresiune am constatat variații ale acestora în funcție de tipul compoziției. Aceste variații s-au datorat prezenței varului nestins (atât cel ce a fost luat în calcul pentru realizarea rețetei, cât și a celui din mortarul Roman, în cazul compozițiilor cu adaos de deșeu) și au fost detaliate în Capitolul 7. Rezultatele luate în calcul pentru a fi comparate cu cele obținute pe mortarele Romane au fost cele ale compozițiilor R2, R3, R4, R5, R6, R4', R5' și R6' înregistrate la 90 de zile de la turnare, așa cum specifică standardele în vigoare și acestea au arătat următoarele aspecte:

- Din punct de vedere al standardului SR EN 998-2:2011 – Specificație a mortarelor pentru zidărie. Partea 2: Mortare pentru zidărie, mortarele noastre ce îndeplinesc criteriul încadrării în clasa de rezistență M1, sunt mortarele R2, R3, R4 și R5, a căror rezistență medie la compresiune depășește valoarea de 1 N/mm^2 ;
- Din punct de vedere al valorii medii a rezistenței la compresiune (0.6 N/mm^2) obținute pe mortarele utilizate la Castrul roman, valorile medii ale tuturor celor 8 compoziții R2-R6' depășesc acea valoare;

Din punct de vedere chimic și mineralogic, probele au fost supuse la mai multe tipuri de încercări (XRD, SEM-EDX, TGA-ATD) din care am putut obține informații esențiale cu privire la structura acestora, precum și imagini cu structura cristalină a probelor încercate.

Analizând probele din punct de vedere al compoziției mineralogice prin intermediul XRD, s-a constatat că probele sunt similare, cuarțul fiind faza mineralogică predominantă, urmată de calcit. Acest lucru poate indica o compoziție convențională a mortarului, cu calcit ca liant și cuarț ca schelet.

Din analiza SEM-EDX s-a văzut că structura mortarelor realizate în laborator este asemănătoare cu cea a mortarelor romane, ambele având un amestec de granule mari și mici, fiind caracterizate printr-o matrice bine definită. Din punct de vedere al analizei EDX, elementele

chimice găsite în fiecare specimen sunt evidențiate prin spectrele EDX înregistrate pe probele de mortar. Maximele specifice fiecărui element studiat (Ca, Mg, Si și O), precum și variații de intensitate care sunt probabil atribuibile unor neomogenități locale au fost găsite în ambele categorii de mortare studiate.

Din analiza termică au fost extrase valorile pierderii de masă ale fiecărei probe supuse la încălzirea treptată până la 1000°C. În urma analizei comparative a intervalului 660-860°C, interval în care procesele puternic endotermice pot fi atribuite descompunerii carbonaților, am observat o diferență semnificativă între procentului de pierdere masică a mortarelor Romane și cel al mortarelor noi, diferență explicată de prezența cantitativ mai mare a carbonaților în mortarele Romane expuse la factorii de mediu timp de aproape 2000 de ani, drept urmare pierderea masică a fost la rândul ei mai mare.

De asemenea, în urma analizei termice, din rezultatele obținute am realizat un grafic privind distribuția raportului $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$, raport ce ne indică nivelul de hidraulicitate al mortarelor, iar din graficul realizat se poate observa o diferență între mortarele prelevate de la Castrul Roman și cele realizate în laborator, din punct de vedere al procentului de dioxid de carbon prezent, în timp ce din punct de vedere al raportului $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$, se poate observa faptul că valorile sunt cuprinse în același interval la ambele categorii de mortare, fapt ce ne confirmă cele spuse mai sus referitor la prezența carbonatării în probele expuse la factorii de mediu.

Putem concluziona prin a spune că toate cele 8 compoziții de mortar realizate în laborator au avut din punct de vedere chimic și mineralogic o structură foarte asemănătoare cu mortarele de la Castrul Roman studiate, diferențierea acestora fiind făcută doar de procentul de dioxid de carbon, în timp ce din punct de vedere al proprietăților mecanice, toate cele 8 compoziții au avut o rezistență la compresiune medie mai mare decât valoarea rezistenței medii înregistrate pe mortarele vechi, dar numai compozițiile R2, R3, R4 și R5 au depășit pragul de 1 N/mm², prevăzut de standardele în vigoare pentru mortarele de zidărie de clasă M1.

Direcții viitoare de cercetare

Autorul propune următoarele teme de cercetare viitoare:

1. Actualizarea hărților privind dezvoltarea urbană a zonei de studiu cu noi informații și crearea unei baze de date ușor accesibile pentru a putea fi introduse noi date referitoare la regenerarea urbană.

2. Analiza efectelor varului nestins în compozițiile de mortar pe bază de var cu cantitate mai mare de apă de amestec și urmărirea evoluției proprietăților acestora pe o perioadă mai mare de 90 de zile.
3. Determinarea valorilor aderenței la substrat a mortarelor pe bază de var stins hidratat și var nestins, proprietate cu o deosebită importanță în domeniul mortarelor de zidărie.
4. Dezvoltarea unor compoziții de mortar pe bază de var stins și var nestins folosind ca agregat nisipul de mare, pentru a simula condițiile din perioada romană, când lacul Siutghiol era un golf al Mării Negre.
5. Studiul literaturii privind detaliile arhitecturale ale fortificațiilor romane în vederea modelării în detaliu a Castrului Roman, dar și a altor construcții de tip monument istoric din sit-urile arheologice din zonă.
6. Studiul amănunțit al proprietăților de autovindecare a mortarelor, datorită prezenței granulelor de var nestins nehidratate, ce odată cu apariția fisurilor și intrarea acestora în contact cu apa, porneste reacția de hidratare ce duce la închiderea fisurii. În acest sens câțiva ăați au fost deja făcuți prin utilizarea unui software de modelare 3D pentru a crea tipare unice de dimensiunile prismelor noastre de mortar, modele ce apoi au fost printate 3D în cadrul laboratorului Facultății de Construcții Constanța. În aceste tipare, au fost introduse 2 prisme de mortar pe bază de var nestins ce în prealabil au fost rupte și așezate la loc. Prismele susținute de tipare au fost submersate în apă și au fost lăsate 30 de zile, după care au fost scoase din apă și s-a observat faptul că fisurile s-au închis. Desigur, pentru a putea studia fenomenul în detaliu, va fi necesară realizarea unui număr mult mai mare de prisme de mortar pe bază de var și de asemenea, o urmărire mai atentă a acestora la intervale mult mai mici, cu ajutorul aparaturii specializate (microscop electronic).

Bibliografie selectivă

1. Bajenaru, C.: OBSERVAȚII RECENTE CU PRIVIRE LA FORTIFICAȚIA DE TIP QUADRIBURGIUM DE LA OVIDIU = Recent Observations About the Early Byzantine Quadriburgium-Type Fort of Ovidiu. *Pontica* 2002-2003. (2003).
2. Bergamonti, L. et al.: The 20th Century Wall Paintings in the Chapel of the Fallen in Parma Cathedral (Italy): Scientific Investigations for a Correct Conservation Project. *Applied Sciences*. 13, 12, 7235 (2023). <https://doi.org/10.3390/app13127235>.
3. Bucovală, M., Papuc, G.: Cercetările arheologice de la Ovidiu, Jud. Constanța / Archäologische Forschungen (Munizipium Konstanza). *Materiale și cercetări arheologice*. 14, 1, 342–347 (1980). <https://doi.org/10.3406/mcarh.1980.1565>.
4. Chanson, H.: Some aspects of the hydraulic design of Roman aqueducts Certains aspects de la conception hydraulique des aqueducs romains. *Houille Blanche*. 6–7, 43–58 (2002).
5. Dilaria, S. et al.: Volcanic Pozzolan from the Phlegraean Fields in the Structural Mortars of the Roman Temple of Nora (Sardinia). *Heritage*. 6, 1, 567–586 (2023). <https://doi.org/10.3390/heritage6010030>.
6. Elsen, J.: Microscopy of historic mortars—a review. *Cement and Concrete Research*. 36, 8, 1416–1424 (2006). <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2005.12.006>.
7. Fabre, G. et al.: L'Aqueduc de Nîmes et le ponts du Gard : Archéologie. Géosystème. Histoire. CNRS Editions, Paris (2000).
8. Fabre, G.: The Pont du Gard: Water and the Roman town. Presses du CNRS, Paris (1992).
9. Hodge, A.T.: Roman Aqueducts and Water Supply. Bristol Classical Press, London (2002).
10. Hughes, J.J.: Mortars in historic buildings: a review of the conservation, technical and scientific literature / by John J. Hughes and Jan Válek. Historic Scotland, Edinburgh (2003).
11. Kirilovica, I., Karpe, M.: Chemical and physical investigations of historic mortars in St. John's Church (Cesis, Latvia). Presented at the The 13th international scientific conference “Modern Building Materials, Structures and Techniques” , Vilnius Gediminas Technical University December 3 (2019). <https://doi.org/10.3846/mbmst.2019.034>.
12. Mociu, N.C. et al.: Highlighting the Characteristics of Roman Mortars from Ovidiu's Quadriburgium Archaeological Site, Romania. *Buildings*. 13, 3, 672 (2023). <https://doi.org/10.3390/buildings13030672>.
13. Montesano, G. et al.: Ancient Roman Mortars from Anfiteatro Flavio (Pozzuoli, Southern Italy): A Mineralogical, Petrographic and Chemical Study. *Coatings*. 12, 11, 1712 (2022). <https://doi.org/10.3390/coatings12111712>.
14. Moropoulou, A. et al.: Composite Materials in Ancient Structures. *Cement and Concrete Composites*. 27, 295–300 (2005). <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.02.018>.

15. Navarro-Mendoza, E.G. et al.: Physical and Mechanical Characterization of Lime Pastes and Mortars for Use in Restoration. *Heritage*. 6, 3, 2582–2600 (2023). <https://doi.org/10.3390/heritage6030136>.
16. Netea, A.G. et al.: *Materiale de construcții și chimie aplicată*. U.T. Press, Cluj-Napoca (2010).
17. Pollio, M.V.: *Vitruvius. The Ten Books on Architecture*: Translated by Morris Hicky Morgan. Adamant Media Corporation (2005).
18. Rispoli, C. et al.: Ancient Roman Mortars from Villa del Capo di Sorrento: A Multi-Analytical Approach to Define Microstructural and Compositional Features. *Minerals*. 11, 5, 469 (2021). <https://doi.org/10.3390/min11050469>.
19. Roberts, P.W., Sykes, H. eds: *Urban regeneration: a handbook*. SAGE, London ; Thousand Oaks, Calif (2000).
20. Santos, A.R. et al.: Characterization and Assessment of Performance of Innovative Lime Mortars for Conservation of Building Heritage: Paimogo's Fort, a Case Study. *Applied Sciences*. 13, 8, 4679 (2023). <https://doi.org/10.3390/app13084679>.
21. Silva, A.S. et al.: Characterization of Historical Mortars from Alentejo's Religious Buildings. *International Journal of Architectural Heritage*. 4, 2, 138–154 (2010). <https://doi.org/10.1080/15583050903046322>.
22. Silva, B.A. et al.: Influence of Water Content and Mixing Conditions on the Properties of Lime-Based Materials. *Buildings*. 13, 6, 1530 (2023). <https://doi.org/10.3390/buildings13061530>.
23. Válek, J. et al. eds: *Historic Mortars: Characterisation, Assessment and Repair*. Springer Netherlands, Dordrecht (2012). <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4635-0>.
24. Zhang, S. et al.: Study on the Mechanical Properties and Durability of Hydraulic Lime Mortars Based on Limestone and Potassium Feldspar. *Applied Sciences*. 13, 4, 2412 (2023). <https://doi.org/10.3390/app13042412>.
25. 52 Pontica 3 (1970) M. BUCOVALĂ – Descoperiri noi în zona suburbană a Tomisului.pdf, https://drive.google.com/file/d/0BwmOVzh5qKnCV2JYb3ota1EwTUU/view?usp=drive_open&usp=embed_facebook, last accessed 2023/03/19.
26. 314 Pontica 12 (1979) M. BOTZAN – Observații din secolul trecut asupra unor construcții antice din Dobrogea.pdf, https://drive.google.com/file/d/0BwmOVzh5qKnCVWhVMWtkbW1rX2s/view?usp=drive_open&pli=1&usp=embed_facebook, last accessed 2023/03/19.
27. 396 Pontica 15 (1982) GHEORGHE PAPUC – Despre apeductele Tomisului.pdf, https://drive.google.com/file/d/0BwmOVzh5qKnCOTNnS3JacE5GZms/view?usp=drive_open&usp=embed_facebook, last accessed 2023/03/19.
28. LacusCurtius • Cato On Agriculture — Sections 1-52, https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Cato/De_Agricultura/A*.html, last accessed 2023/06/20.

29. Primăria | Oraşului Ovidiu, <https://primariaovidiu.ro/>, last accessed 2023/06/29.
30. Renovarea Parisului de către Haussmanns, https://wikicro.icu/wiki/Haussmann%27s_renovation_of_Paris, last accessed 2022/11/08.
31. ROCK - Patrimoniul cultural care conduce viitorul urban, <https://rockproject.eu/about>, last accessed 2022/11/08.
32. Specificație a mortarelor pentru zidărie. Partea 1: Mortare pentru tencuire și gletuire, <https://magazin.asro.ro/ro/standard/186707>, last accessed 2023/06/29.
33. Specificație a mortarelor pentru zidărie. Partea 2: Mortare pentru zidărie, <https://magazin.asro.ro/ro/standard/186709>, last accessed 2023/06/29.
34. Strategia Orasului Ovidiu PDF | PDF, <https://ro.scribd.com/document/444571521/STRATEGIA-ORASULUI-OVIDIU-pdf>, last accessed 2023/06/29.