



გელათის
სამონასტრო
კომპლექსის

კედლის
მხატვრობის
კვლევა

დამკვეთი:
გელათის
რეაბილიტაციის
დროებითი კომიტეტი

2024 წლის
მარტი - აპრილი

შინაარსი

განხორციელებული სამუშაოები და შემსრულებლები	3
1. მისიის მიზანი	5
2. ტექნიკური კვლევის სტრატეგია	7
3. კვლევის მეთოდოლოგია	12
4. კვლევის ამჟამინდელი შედეგების შეჯამება	20
4.1 ნალესობა	21
4.2 ფერწერა	23
4.3 მარილები	37
4.4 ტენიანობა	42
დანართი _მარილების კვლევა_შტეფან ლაუე_22032024 Appendix _Salt analysis_SteffenLaue_22032024	



განხორციელებული სამუშაოები და შემსრულებლები



განხორციელებული სამუშაოები და შემსრულებლები

2024 წლის 10 – 30 მარტის მისიის ფარგლებში შესრულებული სამუშაოები:

- გელათის სამონასტრო კომპლექსის კედლის მხატვრობის მდგომარეობისა და მარილების აქტივობის მონიტორინგი (მთელს კომპლექსში);
- ღვთისმშობლის შობისა და ნაწილობრივ წმ. გიორგის ტაძრის ინტერიერში ზედაპირული და სტრუქტურაში არსებული მარილების ინვაზიური კვლევა (სინჯების აღება);
- ღვთისმშობლის შობის ტაძრის სტრუქტურაში ტენის შემცველობის კვლევა (ინფრაწითელი თერმოგრაფია, ელექტრული წინაღობის მზომი);
- 2024 წლის ზამთრის სეზონის გარემო პირობების მონაცემთა ჩამოტვირთვა;
- ღვთისმშობლის შობის ტაძრის კედლის მხატვრობის ანალიტიკური კვლევის სტრატეგიის განსაზღვრა, ფერწერული ფენისა და ნალესობის ტექნოლოგიისა და მდგომარეობის ინვაზიური (სინჯების აღება) და არაინვაზიური (რენტგენოფლუორესცენტრული სპექტროსკოპია, მულტისპექტრული ფოტოგრაფია) კვლევა (საველე ანალიტიკა და ლაბორატორიული ანალიზებისთვის სინჯების აღება);
- საკონსერვაციო ფიზიკური ჩარევების - კედლის მხატვრობის კრიტიკული ადგილების სტაბილიზაცია და გრძელვადიანი საკონსერვაციო მეთოდოლოგიის განსაზღვრა (პროცესი მიმდინარეა).

სამუშაოები შესრულდა კონსერვატორ-რესტავრატორთა ჯგუფის შემდეგი წევრების მიერ:

კედლის მხატვრობის კონსერვაციის ჯგუფის საერთაშორისო ხელმძღვანელები:

ლიზა შეკვედე სტივენ რიკერბი

ქართული ჯგუფის თანახელმძღვანელები:

ლელა ნინოშვილი მარიამ საღარაძე

უფროსი კონსერვატორები:

ნანა ხუსკივაძე სოფიო მიქაბერიძე

უმცროსი კონსერვატორები:

ელა სააკიანი მარიამ თოდუა
ეთერ თოლორაია

აღსანიშნავია, რომ კედლის მხატვრობის ჯგუფი კოლაბორაციულად მუშაობს საერთაშორისო ინსტიტუციებსა და ექსპერტებთან:

მარილებისა და სამშენებლო მასალის კვლევის მიმართულებით დამატებითი სამუშაოები ხორციელდება პოცდამის გამოყენებათა მეცნიერებების უნივერსიტეტის კონსერვაცია-რესტავრაციის პროგრამის საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა პროფესორის სტეფან ლაუეს მიერ (პირველი ეტაპის სამუშაოები შესრულდა 2023 წლის დეკემბერში, ხოლო მეორე ეტაპის სამუშაოები 2024 წლის მარტში).

გარემო პირობებისა და მარილების დარგში ჯგუფს დამატებით კონსულტაციას უწევს კონსერვაციის მეცნიერი, მინერალოგიის ექსპერტი დოქტორი კრისტინა ბლოიერი.



1. მისიის მიზანი



1. მისიის მიზანი

2024 წლის მარტის მისიის მთავარ ამოცანებს წარმოადგენდა:

- გელათის სამონასტრო კომპლექსის კედლის მხატვრობის მდგომარეობის, მარილებისა და გარემო პირობების გეგმიური მონიტორინგის გაგრძელება, რაც ემსახურება დაზიანებისა და ამ დაზიანების გამომწვევი მიზეზების აქტიურობის/ცვლილების დინამიკის განსაზღვრას;
- გელათის ღვთისმშობლის შობის ტაძრის მთავარი სივრცის კედლის მხატვრობის მდგომარეობისა და ტექნოლოგიის შემადგენლობის არაინვაზიური კვლევის გაგრძელება (მულტისპექტრული ფოტოგადაღება, პორტატული რენტგენოფლოუორესცენტრული სპექტროსკოპია) და არსებული კვლევების ინფორმაციის შეგროვება/შეჯამება. აღნიშნული პუნქტი ემსახურება ტექნოლოგიისა და მდგომარეობის უკეთესად შესწავლას, დაზიანებათა მექანიზმების გამოკვეთასა და ინვაზიური კვლევების საჭიროების მინიმუმამდე დაყვანას;
- გელათის ღვთისმშობლის შობის ტაძრის მთავარი სივრცის კედლის მხატვრობის ტექნიკური კვლევის სტრატეგიის ჩამოყალიბება და ინვაზიური კვლევისთვის ნიმუშების აღება;

- ღვთისმშობლის შობისა და ნაწილობრივ წმ. გიორგის ტაძრის ინტერიერში დაზიანების გამომწვევი ერთ-ერთი მთავარი მიზეზის, მარილების, შემადგენლობის დადგენა ინვაზიური კვლევის მეშვეობით. ამოცანას წარმოადგენდა მარილების სინჯების აღება, როგორც ინტერიერის ზედაპირიდან, ისე სტრუქტურის სტრატეგიაშიდან. მარილის კვლევა მიზნად ისახავს: ზუსტი შემადგენლობის დადგენას, მარილების წყაროს განსაზღვრასა და მის გარემო-პირობებთან მიმართებაში აქტივობის განსაზღვრას, რათა მოხდეს მათი სტაბილიზაცია;
- ღვთისმშობლის შობის ტაძრის სტრუქტურაში ბოლო ათწლეულში დაფიქსირებული წყლის ინფილტრაციის ლოკაციების ადგილებში ტენის შემცველობის კვლევა (ინფრაწითელი თერმოგრაფია, ელექტრული წინაღობის მზომი, მიკრო ბურღვითი ანალიზი);
- საკონსერვაციო ფიზიკური ჩარევების განხორციელება - გელათის ღვთისმშობლის შობის ტაძარში კედლის მხატვრობის კრიტიკული ადგილების სტაბილიზაცია და გრძელვადიანი საკონსერვაციო მეთოდოლოგიის განსაზღვრის პირველი ეტაპის განხორციელება. ჩარევები ეფუძნება სავსე ლაბორატორიულ კვლევებსა და ძეგლზე ტესტირებას.



2. ტექნიკური კვლევის სტრატეგია



2. ტექნიკური კვლევის სტრატეგია

ტექნიკური კვლევის პრინციპებისა და მიზნების მიმოხილვა

კედლის მხატვრობა არქიტექტურული კონტექსტის განუყოფელი ნაწილია, ხოლო თავად არქიტექტურული ნაგებობები ფიზიკურ სისტემას წარმოადგენენ, რომლის შემადგენელი ელემენტები მხატვრობის მდგომარეობაზე ახდენენ გავლენას. კედლის მხატვრობის კონსერვაციის სპეციალისტებისთვის აუცილებელია კედლის მხატვრობის შემადგენელ მასალებსა და სტრუქტურის სრულ სტრატეგიაში ინფორმაციის მოგროვება იმისათვის, რომ მოხდეს დაზიანებათა ასპექტების განსაზღვრა და შესაბამისი თავსებადი საკონსერვაციო მიდგომებისა და ფიზიკური ჩარევების განხორციელება.

სტრუქტურის სტრატეგიაში შედის:

- ფერწერული ფენები (სტრატეგიის ყველა ასპექტი გრუნტი, დამცავი ფენა და ლისირება)
- შელესილობის ფენები მხატვრობის ყველა სქემიდან
- საფუძვლის ფენა (ქვა/დუღაბი) ყველა პერიოდის მინაშენი/გადაკეთებიდან
- გვიანი შეკეთების მასალები (თაბაშირის და კირის საფუძველზე დამზადებული)

დაგეგმილ კვლევაში გამოყენებული იქნება აქამდე უკვე შესრულებული ანალიზების შედეგები, შესაბამისად არ მოხდება არასაჭირო ანალიზების ხელმეორედ შესრულება.

მინიმალური ჩარევის პრინციპის დაცვით მაქსიმალური ინფორმაციის მიღება მოხდება არაინვაზიური კვლევებიდან. კვლევების მთავარ მიზანს წარმოადგენს კონსერვაციასთან დაკავშირებულ კონკრეტულ საკითხებზე პასუხის მიღება (იხილეთ ქვემოთ მოცემული კვლევის საკითხები).

ინვაზიური კვლევის ფარგლებში ნიმუშების აღება მინიმუმამდე იქნება დაყვანილი და მოხდება მხოლოდ დაზიანებული არეებიდან.



2. ტექნიკური კვლევის სტრატეგია

ფერწერის ტექნოლოგიის კვლევა

კედლის მხატვრობის კონსერვაციაში, სტრატეგიაში, ფენებიდან ყველაზე რთულად შესასწავლი ფერწერული ფენაა. ფერწერული ფენა მოითხოვს კედლის მხატვრობის ტექნოლოგიის კუთხით შესაბამის განათლებას, რათა შესაძლებელი იყოს შედეგების სწორი ინტერპრეტაცია. ასევე, მისი ფიზიკური და ქიმიური თვისებების მეცნიერულ გაგებასთან ერთად საჭიროა მასალების და ადგილობრივი და რეგიონული ტრადიციების და პრაქტიკის ცოდნა.

გელათის კედლის მხატვრობის შემთხვევაში კითხვები შეიძლება დაიყოს სამ ძირითად კატეგორიად:

- კითხვები, რომლებიც ეხება ფიზიკურ მდგომარეობას, მაგალითად, დაზიანებული/შეცვლილი და დაუზიანებელი ფერწერული ფენის კავშირს დაზიანების მექანიზმთან;
- კითხვები, რომლებიც მნიშვნელობას მატებს ძეგლის ღირებულებების განსაზღვრას, მაგალითად, იშვიათი ან ძვირადღირებული მასალების გამოყენების დადგენა, პალიტრის ან შესრულების მეთოდის ადრე არაღიარებული ასპექტების დოკუმენტირებას, ტრადიციული პრაქტიკის უწყვეტობას ან ადაპტაციას და ა.შ.;
- საკითხები, რომლებიც ზრდის ცოდნას მხატვრობის შესრულების ფაზების, პერიოდიზაციის და სახელოსნო პრაქტიკის შესახებ.

2023 წლის აპრილიდან - 2024 წლის თებერვლის პერიოდში გელათის ღვთისმშობლის შობის სახელობის ტაძრის მთავარი სივრცის კედლის მხატვრობის ვიზუალური (პორტატული მიკროსკოპის დახმარებით) შესწავლით გამოვლენილი ინფორმაციის გამყარება ტექნიკური არაინვაზიური კვლევის მეთოდებით განხორციელდა. დამატებითი არაინვაზიური მეთოდები (პორტატული მიკროსკოპის გარდა) წარმოადგენს მულტისპექტრულ ფოტოგადაღებასა და პორტატული რენტგენოფლოუროსცენტრულ სპექტროსკოპიით განხორციელებულ საველე ანალიზებს.

პიგმენტის ბუნებისა და დაზიანების შესახებ უფრო მეტი სპეციფიკური ინფორმაციის მისაღებად გამოყენებულ იქნება საკვლევი ნიმუშების მიკროსკოპული ანალიზი (Optical Microscopy, IR Microscopy) (ჭრილი/ანათალი, დისპერსია) და ელექტრო მიკროსკოპული სკანერისა და ენერჯის დისპერსიული რენტგენის სპექტროსკოპია (SEM- EDX) .

შემკვრელის, დამცავი ფენების, ლისირების და სხვა ორგანული კომპონენტების იდენტიფიკაციისათვის გამოყენებული იქნება ისეთი მეთოდები, როგორც არის ინფრაწითელი სპექტროსკოპია (FTIR/ IR Microscopy), გაზ-ქრომატოგრაფია და მასის სპექტროსკოპია (GC-MS), და/ან მაღალი ხარისხის თხევადი ქრომატოგრაფია (HPLC).



2. ტექნიკური კვლევის სტრატეგია

ნალესობის ფენების კვლევა

ნალესობის ფენების ტიპის კვლევის მთავარი მიზანია ხელი შეუწყოს თავსებადი საკონსერვაციო მასალების და მეთოდების შემუშავებას. კვლევა, რომელიც პირველ ეტაპზე უზრუნველყოფს საჭირო ინფორმაციის შეგროვებას, უკვე შესრულებულია. 2023 წლის აპრილიდან - 2024 წლის თებერვლამდე განხორციელებული საველე არაინვაზიური კვლევებით (პორტატული მიკროსკოპის გამოყენებით) ღვთისმშობლის შობის ტაძრის მთავარი სივრცის ნალესობის თითოეული ტიპი შესწავლილია. გამოვლინდა ნალესობათა ფიზიკური მახასიათებლები - ფერი, ტექსტურა, შემავსებელი აგრეგატები (ზომა, ფორმა, ფერი), ორგანული ჩანართები. ასევე, განისაზღვრა შემკვრელის და შემავსებლის ზოგადი თანაფარდობა. გარდა ვიზუალური კვლევისა, ჩატარდა საველე ქიმიური ტესტირება იმისათვის, რომ განსაზღვრულიყო ნალესობის შემკვრელი. კვლევის საფუძველზე დადგინდა, რომ ნალესობის ყველა ტიპი კირის ბაზაზეა დამზადებული, რამაც საშუალება მისცა საკონსერვაციო სამუშაოებს კირზე დაფუძნებული სატესტო საკონსერვაციო მასალები შემუშავებულიყო. აღსანიშნავია, რომ კვლევისას დამუშავდა 2021-22 წლებში შესრულებული ანალიტიკური ანალიზების შედეგები (პულიერი&ჩენტინი 2021, მელიკა 2022).

ნალესობაზე დამატებითი ინფორმაციის მისაღებად დაგეგმილია ინვაზიური კვლევები, რომელიც საკვლევი ნიმუშების შეგროვებას და დამატებით ლაბორატორიულ შესწავლას და ტესტირებებს გულისხმობს. კვლევის მეთოდები მოიცავს მიკროსკოპულ (OM) შესწავლას, ელექტრო მიკროსკოპული სკანერისა და ენერჯის დისპერსიული რენტგენის სპექტროსკოპიასა (SEM- EDX) და

რენტგენოფაზული ანალიზს (XRD).

აღნიშნული კვლევის განხორციელება მნიშვნელოვანია, რათა შეგროვდეს ინფორმაცია ისეთ ასპექტებზე, როგორც არის ნალესობის ფორიანობა, ფორების განაწილება, შემკვრელის/შემავსებლის თანაფარდობა, აგრეგატების გეოლოგიური თუ მინერალოგიურ-პეტროგრაფიული იდენტიფიკაცია, ორგანული ჩანართების განსაზღვრა და ა.შ. ასევე, შეგროვდება ინფორმაცია ადგილობრივად (ქართულ) ხელმისაწვდომ კირის შემცველობაზე (მაგ. მაგნიუმის შემცველობის შესახებ).

საფუძვლის ფენის კვლევა

გელათში კედლის მხატვრობის გაუარესებაში მთავარი წვლილი შეაქვს ხსნად მარილებს, ამიტომ კედლის მხატვრობის კონსერვაციის ჯგუფის მიზანია მარილებისა და მათი წყაროების იდენტიფიცირება, რათა შეიზღუდოს მხატვრობაზე მარილების აქტივაციასთან დაკავშირებული შემდგომი გაუარესებები. მარილების ანალიზი ნაწილი უკვე შესრულებულია, ასევე „Restruere“-ის კვლევის ფარგლებში სამშენებლო ქვა, იდენტიფიცირებულია როგორც დოლომიტური კირქვა. ამიტომ, მხოლოდ ქვის სინჯის აღება და შემდგომი ანალიზი არ არის საჭირო, თუმცა კრიტიკულად მნიშვნელოვანია სტრუქტურაში არსებული მარილების სიღრმისეული (სტრატეგრაფიული) კვლევა (რა დროსაც ქვის ნიმუშის აღება და მისი რენტგენოფაზური (XRD) ანალიზი მარილებთან ერთად კომბინირებულად მოხდება).



2. ტექნიკური კვლევის სტრატეგია

არაორიგინალი მასალების კვლევა

არაორიგინალი მასალის (წინა პერიოდის საკონსერვაციო ფენის) კვლევა, ძირითადად, ფოკუსირებულია მარილების წყაროების იდენტიფიცირებაზე. თაბაშირზე და ცემენტის ბაზაზე დაფუძნებული გვიანი ჩარევა, ხშირად, შეიძლება, დაკავშირებული იყოს დამაზიანებელ, სულფატის შემცველი მარილების წარმოქმნასთან. კიდევ ერთი მიზეზი, რატომაც მნიშვნელოვანია წინა პერიოდის საკონსერვაციო მასალების მახასიათებლების დადგენა, არის ორიგინალისა და დამატებული მასალის თავსებადობა, რათა განისაზღვროს ორიგინალი მასალების გაუარესების მიზეზი. მაგალითისთვის, თავსებადობის საკითხი უნდა უკავშირდებოდეს სიმტკიცეს, სიმკვრივეს და სხვა მრავალ კომპონენტს.

საქართველოში, მეოცე საუკუნის მეორე ნახევარში კედლის მხატვრობის კონსერვაციის დარგში, თაბაშირის შევსებები და კიდევების გამაგრება აქტიურად გამოიყენებოდა. გელათშიც, მთავარი ტაძრის მთავარ სივრცეში კირის ბაზაზე დამზადებული მასალის (პოცოლანური მასალისა და/ან ქვიშის შემავსებლით, პროპორცია შემკვრელი 1: შემავსებელი 3) გარდა, თაბაშირიც ფიქსირდება (მელიკა, 2022, გვ.16). გარდა იმისა, რომ თაბაშირისა და კირხსნარის გამოყენება მეოცე საუკუნის მეორე ნახევარში გელათის მხატვრობის კონსერვაციის ხელმძღვანელმა ლადო გურგენაძემ დაადასტურა, აღსანიშნავია, რომ ემპირიული შესწავლის და 2022 წელს ჩატარებული კვლევების საფუძველზე (მელიკა, 2022, გვ.16) თაბაშირი და კირის შევსებები ადვილად იდენტიფიცირებადია და არ საჭიროებს დამატებით გაღრმავებულ ლაბორატორიულ გამოკვლევას.



3. საველე კვლევის მეთოდოლოგია



3. საველე კვლევის მეთოდოლოგია

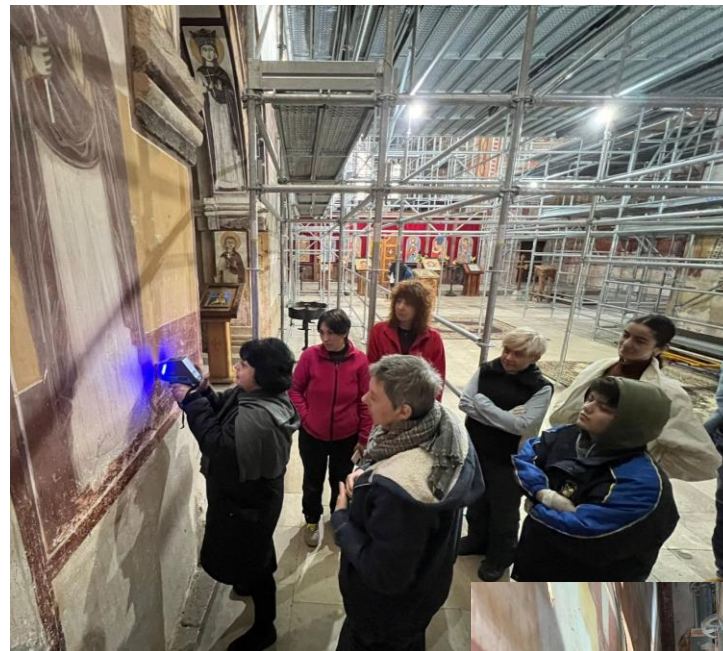
პორტატული რენტგენოფლოუორესცენტრული სპექტროსკოპია

რენტგენოფლოუორესცენტრული სპექტროსკოპია არის ელემენტარული არადესტრუქციული ტექნიკა, რომელიც ელემენტთა იდენტიფიცირებისთვის გამოიყენება.

მუშაობის პრინციპი: მოწყობილობის საშუალებით ინტენსიური რენტგენის სხივი ხვდება საკვლევი მასალის ზედაპირს. სხივი მასალის ატომის შიდა გარსებიდან (K, L და M) ელექტრონის ამოგდებას და გარე ელექტრონებით ჩანაცვლებას ახდენს. როდესაც ეს ფენომენი ხდება, გამოიყოფა ელემენტის ენერგია, რომელიც უდრის შიდა და გარე ორბიტალების სხვაობას, რაც იძლევა ელემენტის იდენტიფიცირების საშუალებას.

2024 წლის მარტში გელათის სამონასტრო კომპლექსის ღვთისმშობლის შობის სახელობის ტაძრის მთავარ სივრცეში კედლის მხატვრობის კვლევის მიზნით გამოყენებულ იქნა საქართველოს ეროვნული მუზეუმის რენტგენოფლოუორესცენტრული სპექტროსკოპიის პორტატული ხელსაწყო. ტექნიკური უზრუნველყოფა და კონსულტაცირება მუზეუმის კონსერვაციის ექსპერტის, ქალბატონ ნინო კალანდაძის მიერ მოხდა.

აღჭურვილობის გამოყენების მთავარ მიზანს წარმოადგენდა ვიზუალური კვლევისა და არაინვაზიური (მულტისპექტრული და მიკროსკოპული) შესწავლის საფუძველზე გამოვლენილი სავარაუდო პიგმენტების იდენტიფიცირება და ინვაზიური კვლევისთვის სტრატეგიის განვითარება, რათა სინჯის აღების რაოდენობა მინიმუმამდე დაყვანილიყო. ძეგლზე ელემენტების შემცველობის დადგენის მიზნით გადამოწმდა 90-ზე მეტი ლოკაცია.



მარცხნივ: კონსერვაციის ექსპერტის - ნინო კალანდაძის მიერ ჩატარებული ტექნიკური ინსტრუქტაჟი პორტატული XRF-ის გამოყენების შესახებ.



მარჯვნივ: პორტატული XRF-ის გამოყენების პროცესი. შარავანდედის ფერწერული ფენის ელემენტების შესწავლა.



3. საველე კვლევის მეთოდოლოგია

პორტატული რენტგენოფლუორესცენტრული სპექტროსკოპია

ძველზე გამოყენებული ხელსაწყო მოდელს წარმოადგენს ProSpector 3, რომელიც მძიმე მეტალის ელემენტების შემცველობას განსაზღვრავს: გოგირდიდან ურანიუმის ჩათვლით.

საანალიზები სინჯების კატეგორიები მოიცავდა:

1. მეტალის შემცველი ბუნებრივი მინერალებისა და ხელოვნური პიგმენტების იდენტიფიცირებას:

- ტყვიის შემცველი პიგმენტები (მაგ: ტყვიის თეთრა, ტყვიის წითელი)
- სპილენძის შემცველი პიგმენტები (მაგ: აზურიტი, მალაქიტი)
- რკინის შემცველი პიგმენტები (მაგ. მიწის პიგმენტები/ოქრები)
- ვერცხლის წყლის შემცველი პიგმენტები (მაგ: სინგური)
- კადმიუმის შემცველი პიგმენტები (მაგ. ყვითელი, წითელი)
- თუთიის შემცველი პიგმენტები (მაგ. თუთიის თეთრა)
- დარიშხანის შემცველი პიგმენტები (მაგ. რეალგარი)
- ვერცხლი
- ცირკონიუმის შემცველი პიგმენტები (მაგ. ყვითელი, ლურჯი)

2. ძვირფასი მეტალების იდენტიფიცირებას

- ოქრო

ProSpector 3	
X-Ray Tube	W, 40 kV (option 50 kV)
Primary Filters	Single
Collimators	Single
X-Ray Detector	SDD (option – large area Fast SDD)
Detector Window	Be, 12 um
Detection Range	S – U
CCD Camera	Sample view (option)
Temperature correction	Yes
Barometric correction	No
Bluetooth	Option
Wi-Fi	Option
GPS	No
Ingress Protection	IP65
He purge	No

ზემოთ: XRF ProSpector 3-ის ტექნიკური მონაცემები

3. საველე კვლევის მეთოდოლოგია

მულტისპექტრული ფოტოგადაღება

მულტისპექტრული ფოტოგადაღება არის არაინვაზიური კვლევის ტექნიკა, რომელიც გამოიყენება ორიგინალი და არაორიგინალი მხატვრობის/მასალის დასახასიათებლად, მათ შორის განსხვავებების ინდიკაციისთვის და ამ მასალათა სიბრტყული განაწილების ვიზუალიზაციისთვის, ასევე, გამოიყენება მდგომარეობის აღწერა/შეფასებისთვის.

მულტისპექტრული ფოტოგადაღება მოიცავს სინათლის ინფრაწითელი, ხილული და ულტრაიისფერი სპექტრების გამოყენებას, რომელიც მასალათა ოპტიკურ (ლუმინისცენციურ და არეკვლად) მახასიათებლებს გამოკვეთს და გამოიყენება პიგმენტებისა თუ ორგანული მასალების ინდიკაციისთვის.

ინფრაწითელი ნათება, ტალღის სიგრძიდან გამომდინარე მასალის სიღრმეში შეღწევას ახერხებს, შესაბამიდად, ისეთი ინფორმაციის მოწოდება შეუძლია, რაც ზედაპირზე დაფარულია. აქედან გამომდინარე, ინფრაწითელი ნათების გამოყენების მიზანს წარმოადგენს გელათის კედლის მხატვრობის ტექნოლოგიის დამატებითი კვლევა, მაგალითად, მოსამზადებელი ტექნიკის ინდიკაცია. აღსანიშნავია, რომ ხილული სპექტრის ფოტოგადაღებასთან კომბინაციაში ინფრაწითელმა ნათებამ, შესაძლოა, გამოავლინოს განმასხვავებელი ნიშნები ერთნაირ მასალასა და/ან ორიგინალ და არაორიგინალ მასალებს (გადახატვებს) შორის.

ულტრაიისფერი ნათება, ტალღის მოკლე სიგრძიდან გამომდინარე სიღრმეში არ პენეტრირებს, შესაბამისად, მხოლოდ ზედაპირიდან აღებულ ინფორმაციას იძლევა. გელათის კედლის მხატვრობაზე ულტრაიისფერი ნათების გამოყენების მიზანს წარმოადგენს ორიგინალი და არაორიგინალი ორგანული მასალების გამოვლენა და სხვადასხვა სახის პიგმენტების ინდიკაცია. ასევე მსგავსად ინფრაწითელისა, აღსანიშნავია, რომ ხილული სპექტრის ფოტოგადაღებასთან კომბინაციაში შესაძლოა გამოავლინოს განმასხვავებელი ნიშნები ერთნაირ მასალასა ან ორიგინალ და არაორიგინალ მასალებს (გადახატვებს) შორის.



ზემოთ: მულტისპექტრული ფოტოგადაღების აღჭურვილობა

მულტისპექტრული ფოტოგადაღებისთვის გამოყენებული აღჭურვილობის ნაწილი გაზიარებულ იქნა ეპრივალოვას სახელობის მხატვრობის ტექნიკური კვლევის ცენტრ „ბეთანია“-ს მიერ.



3. საველე კვლევის მეთოდოლოგია

მულტისპექტრული ფოტოგადაღება

კვლევის ფარგლებში მოხდა შემდეგი ტიპის ფოტოგადაღება:

ტიპი 1: ხილული სპექტრის არეკვლა

მიზანი: 1. მასალის დახასიათება 2. მასალათა განაწილება 3. კვლევის სტრატეგიის იდენტიფიკაცია

ტიპი 2: ინფრაწითელი სპექტრის არეკვლა

მიზანი: 1. სიღრმეში არსებული მასალის გამოვლენა 2. მასალათა განაწილება

ტიპი 3: ულტრაიისფერი სპექტრის ლუმინესცენცია

მიზანი: 1. მასალის დახასიათება/ორგანული მასალების გამოყენების ინდიკაცია 2. მასალათა განაწილება 3. მდგომარეობის გამოვლენა

ტიპი 4: ხილული სპექტრით გამოწვეული ლუმინესცენცია

მიზანი: 1. სპეციფიური მასალის დახასიათება (ეგვიპტური ლურჯი, ჰანის ლურჯი, ჰანის იისფერი, კადმიუმის პიგმენტები, ლაქის საღებავები) 2. მასალათა განაწილება 3. მდგომარეობის გამოვლენა



მარჯვნივ: არაინვაზიური კვლევის მეთოდის, მულტისპექტრული ფოტოგადაღების პროცესი.



3. საველე კვლევის მეთოდოლოგია

პორტატული მიკროსკოპით შესწავლა

ვიზუალური კვლევის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან არაინვაზიურ მეთოდს წარმოადგენს მასალის მიკროსკოპული შესწავლა ხელის პორტატული მიკროსკოპის გამოყენებით.

გელათის სამონასტრო კომპლექსის კვლევის ფარგლებში გამოიყენება ორი სახის პორტატული მიკროსკოპი, რომელთა გადიდება 10 – 250X მერყეობს. მიკროსკოპები გამოიყენება კედელზე დაკვირვებისთვისა და საველე ლაბორატორიულ პირობებში მასალათა შესწავლის მიზნით.

პორტატული მიკროსკოპი ფოტო და ვიდეო გადაღების შესაძლებლობას იძლევა, როგორც პირდაპირი, ისე გვერდითა ნათებით. პორტატული მიკროსკოპი დამატებით ულტრაიისფერი ნათების გამოყენებით ორგანულ მასალაზე დაკვირვების საშუალებას იძლევა.

The Dino-Lite Pro II AD4113T 10x-50x, 220x Digital Microscope



The Dino-Lite AM7115MT-FUW, 20 – 220x Digital Microscope



ქვემოთ: საველე ლაბორატორიულ პირობებში პორტატული მიკროსკოპის გამოყენების მაგალითი



ზემოთ: მხატვრობის მიკროსკოპული შესწავლა

3. საველე კვლევის მეთოდოლოგია

ინფრაწითელი თერმოგრაფია

ინფრაწითელი (IR) თერმოგრაფია არის ფოტოგადაღების ტექნიკა, რომელიც არაკონტაქტური თერმოგრაფიული მოწყობილობების დახმარებით ზედაპირის ტემპერატურის სივრცულ გადანაწილებაზე იღებს ინფორმაციის და ასახავს ფოტოში. სხვა სიტყვებით, რომ ვთქვათ IR თერმოგრაფია დეტექტირებას უწევს ზედაპირიდან არეკლილი ინფრაწითელი სპექტრის ელექტრომაგნეტიური ტალღებს და ტემპერატურის სახით გვაწვდის ინფორმაციას.

ფოტოზე თითოეული პიქსელი წარმოადგენს ზედაპირის ტემპერატურის მონაცემს, მონაცემები ეკრანზე განთავსებულია ფერადოვანი გამით ან შავ-თეთრ ტონებში.

ტექნოლოგია გვამლევს როგორც რაოდენობრივ მონაცემებს (ტემპერატურას ციფრების სახით), ისე ხარისხობრივ ინფორმაციას (სხვადასხვა ტემპერატურის განაწილება მთლიან ზედაპირზე).

მაშასადამე, ინფრაწითელი თერმოგრაფია გამოიყენება ზედაპირის ტემპერატურის განსასაზღვრად, ორიგინალი ტექნოლოგიისა და მასალის მდგომარეობის საკვლევად, კერძოდ:

- სამშენებლო მასალის (ქვის წყობის) გამოსავლენად.
- ტენის გადანაწილების განსასაზღვრად.
- სიცარიელების (განშრეებების) ლოკაციისა და მასშტაბის იდენტიფიცირებისთვის.
- ფიზიკური ჩარევის დროს სტრუქტურის შიგნით საკონსერვაციო მასალის ტრანსპორტირების გზის განსასაზღვრად.



მარჯვენა: Flir კამერის გამოყენება მხატვრობის ზედაპირის ტემპერატურის განსასაზღვრად.



მარჯვენა: Topdon კამერის გამოყენება მხატვრობის ზედაპირის ტემპერატურის განსასაზღვრად.



3. საველე კვლევის მეთოდოლოგია

ელექტრული წინაღობის მზომი

სტრუქტურაში ტენიანობის განსაზღვრის ერთ-ერთ მეთოდს წარმოადგენს ელექტრული წინაღობის მზომი აპარატი.

BL Compact B2 არის არაინვაზიური საკვლევი მეთოდი, რომელიც მუშაობისას იყენებს დიელექტრიკულ მუდმივ/რადიოსიხშირის გაზომვის პრინციპს. მრავალმხრივი ბურთის სენსორი გამოიყენება ნებისმიერი სახის სამშენებლო მასალებში ტენიანობის შესაგრძნობად, ასევე კედლებზე, ქერსა და იატაკზე ტენის განაწილების დასადგენად.

გელათის ღვთისმშობლის შობის სახელობის ტაძრის მთავარ სივრცეში აღნიშნული აპარატის გამოყენების მიზანს წარმოადგენს:

- ტენის შემცველი ლოკაციების განსაზღვრა (ხარისხობრივი ინფორმაცია)
- ტენის შემცველობის შედარებითი ანალიზი (სხვადასხვა ლოკაციის რიცხობრივი მონაცემების შედარება ერთმანეთთან და დროის სხვადასხვა მონაკვეთში)

აღნიშნული მონაცემების შეკრება მოხდა:

- 2024 წლის თებერვალსა და მარტში მომხდარი წყლის ინფილტრაციის ადგილას - ღვთისმშობლის შობის სახელობის ტაძრის მთავარი სივრცის დასავლეთი მკლავის ჩრდილოეთი კედელი (მეოთხე რეგისტრი სცენა ქრისტე კაიფასთან).
- მთავარი სივრცის ჩრდილოეთი მკლავის დასავლეთ და აღმოსავლეთ კედლებზე, მიკრობურღვითი კვლევის (მარილების და ტენის შემცველობის დასადგენად) ლოკაციებში.



3 Specifications

3.1 Technical Specifications

Display: 3-line display
 Display resolution: 0.1%
 Reaction time: < 2 s
 Storage conditions: + 5° to + 40° C
 - 10° to + 60° C (short-term)
 Operating conditions: 0° to + 50° C
 - 10° to + 60° C (short-term)
 Power supply: 9 V battery
 Usable types: Type 6LR61 or Type 6F22
 Dimensions: 190 x 50 x 30 (L x W x H) mm
 Weight: approx. 180 g

3.2 Intolerable Ambient Conditions

- Condensation, continuously high air humidity (> 85%) and wet
- Continuous dust exposure and flammable gases, vapours or solvents
- Continuously high ambient temperatures (> + 50° C)
- Continuously low ambient temperatures (< + 0° C)

4.4 Display Values (Digits) in Relation to the Bulk Density

Density (specific wt.) of the building material kg/m³	Corresponding Relative Air Humidity					
	Display in Digits					
	very dry	normal dry	semi dry	moist	very moist	wet
up to 600	10 - 20	20 - 40	40 - 60	60 - 90	90 - 110	more than 100
600 - 1200	20 - 30	30 - 50	50 - 70	70 - 100	100 - 120	more than 120
1200 - 1800	20 - 40	40 - 60	60 - 80	80 - 100	110 - 130	more than 130
above 1800	30 - 50	50 - 70	70 - 90	90 - 120	120 - 140	more than 140

Hydromette BL Compact B 2

ზემოთ: და მარცხნივ:
 ელექტრული წინაღობის მზომის სპეციფიკაცია



მარჯვნივ:
 ელექტრული წინაღობის მზომის გამოყენების პროცესი, წყლის ინფილტრაციის ადგილას.

GANN BL Compact B2 მოწყობილობა გაზიარებულ იქნა გელათის რეაბილიტაციის საერთაშორისო კომიტეტის წევრის ეესპერტ სტეფან საიმონის მიერ.



4. კვლევის ამჟამინდელი შედეგების შეჯამება



4. კვლევის შედეგები

4.1 ნალესობის ფენის კვლევა

მხატვრობის ფენა 1 (ადრეული)

ღვთისმშობლის შობის სახელობის ტაძრის მთავარი სივრცის დასავლეთ მკლავში არსებული ადრეული მხატვრობის ფენის ნალესობის შესწავლა ხორციელდება არაინვაზიური (ვიზუალური დაკვირვების, პორტატული მიკროსკოპის გამოყენებით) და ინვაზიური (ნალესობის მიკროქიმიური ტესტირება) მეთოდებით.

მხატვრობის ადრეული ფენა ფიქსირდება დასავლეთ მკლავის ჩრდილოეთ და სამხრეთ კედლებსა და კამარაზე, გვიანი მხატვრობის (XVI) დანაკარგ ადგილებში. დასავლეთი მკლავის ჩრდილოეთ კედელზე (N6) უფერწერო ნალესობის ფრაგმენტებიც ფიქსირდება.

ადრეული მხატვრობის ფენის ნალესობაში გამოიყოფა 3 ძირითადი კატეგორია: 4.2.1.1 შემორჩენილი ნალესობის დაუდგენელი ფრაგმენტები, 4.2.1.2 ძირითადი ნალესობის ფენა და 4.2.1.3 მოსამზადებელი ფენა.

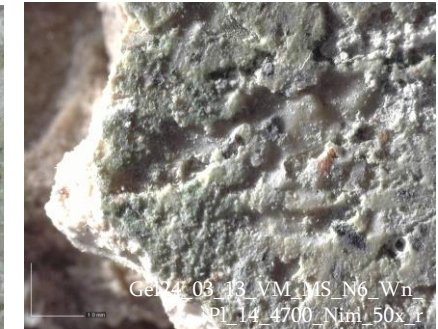
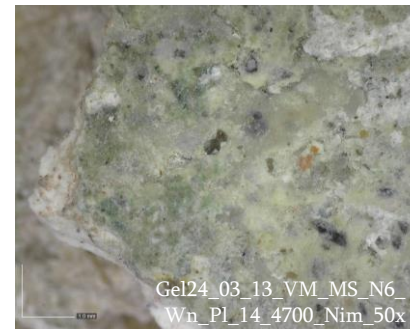
ადრეული მხატვრობის სტრატეგრაფიას წარმოადგენს ქვაზე დატანილი 1 სმ-მდე სისქის ღია ნაცრისფერი შეფერილობის ნალესობა, რომელსაც ახასიათებს წმინდა და წვრილმარცვლოვანი სხვადასხვა ფერისა და მორფოლოგიის არაორგანული აგრეგატული შემავსებელი.

ძირითად ნალესობას ადგილებში აღენიშნება არათანაბარი სისქის, ძირითადად თხელი 0.2 სმ-მდე მოსამზადებელი ფენა, რომელსაც აქვს არაორგანული აგრეგატული შემავსებელი. ზედაპირი კარგად დამუშავებულია, აქვს გლუვი, ერთვაროვანი ტექსტურა. შემადგენლობის თვალსაზრისით მასალა ჰგავს ძირითადი ნალესობის ფენას, შესაბამისად გარკვეულ ადგილებში რთულია ამ ორი ფენის ვიზუალურად ერთმანეთისგან გამიჯვნა.

საველე ლაბორატორიული კვლევების დროს სინჯის აღება მოხდა ძირითადი ნალესობის ფენიდან. მიკროქიმიური (მარილმჟავას) ანალიზის შედეგად ნალესობის ფენის შემკვრელის ბაზად კირი დადგინდა.



მარცხნივ:
მხატვრობის
ადრეული
ფენის კირის
ნალესობა.



4. კვლევის შედეგები

4.1 ნალესობის ფენის კვლევა მხატვრობის ფენა 2 (XVI)

ღვთისმშობლის შობის სახელობის ტაძრის მთავარი სივრცის მკვლავების მეთექვსმეტე საუკუნის კედლის მხატვრობის ნალესობის შესწავლა ხორციელდება არაინვაზიური (ვიზუალური დაკვირვების, პორტატული მიკროსკოპის გამოყენებით) და ინვაზიური (მიკროქიმიური ტესტი, OM/SM, SEM-EDX, XRD) მეთოდებით. აღსანიშნავია, რომ აღნიშნული კვლევა ითვალისწინებს ნალესობებზე წინა წლებში განხორციელებული ანალიტიკური კვლევების შედეგებსაც.

ღვთისმშობლის შობის სახელობის ტაძრის მთავარი სივრცის მკვლავებში გვიანი მხატვრობის (XVI) ნალესობის ფენათა რაოდენობა და შემადგენლობა მკვლავების მიხედვით განსხვავებულია. სხვაობას მკვლავის სცენებს შორისაც ვხვდებით. გვიანი მხატვრობის ნალესობის შემადგენლობა მკვეთრად განირჩევა ადრეული მხატვრობის ნალესობებისგან.

ვიზუალური დაკვირვების საფუძველზე (პორტატული მიკროსკოპისა და მაკრო ფოტოგადაღების გამოყენებით) შემადგენლობის მიხედვით ნალესობის 6 ძირითადი ტიპი გამოიყო, რაც მიკროქიმიური ტესტის შედეგებსა და მანამდე განხორციელებულ ანალიტიკულ კვლევებთან მოდის თანხვედრაში.







საველე ლაბორატორიული კვლევებით, მიკროქიმიური (მარილმჟავას) ანალიზის შედეგად ნალესობის 6-ივე ტიპის/ყველა ნალესობის ფენის შემკვრელი კარბონატული მასალაა (კირი). სხვაობა არაორგანული აგრეგატების რაოდენობასა და ორგანული ჩანართების სახეობებში გამოიხატება.

- ✓ ტიპი 1 - ნალესობა, რომელიც კირის შემკვრელთან ერთად შეიცავს დიდი რაოდენობის არაორგანულ აგრეგატულ მინარევებსა და ორგანულ, ყვითელი შეფერილობის მქონე მცენარეული ნამჯის მგავს ჩანართს.
- ✓ ტიპი 2 - ნალესობა, რომელიც კირის შემკვრელთან ერთად შეიცავს დიდი რაოდენობის არაორგანულ აგრეგატულ მინარევებსა (მდინარის ქვიშას) და ორგანულ ნამჯის ჩანართს და თეთრი შეფერილობის გამჭვირვალე ბოჭკოებს.
- ✓ ტიპი 3 - ნალესობა, რომელიც შედგება მხოლოდ კირის შემკვრელისა და ნამჯისგან.
- ✓ ტიპი 4 - ნალესობა, რომელიც კირის შემკვრელთან ერთად შეიცავს მცირე რაოდენობის არაორგანულ აგრეგატულ მინარევებსა (მდინარის ქვიშას) და ორგანულ, თეთრი შეფერილობის გამჭვირვალე ბოჭკოებს.
- ✓ ტიპი 5 - ნალესობა, რომელიც კირის შემკვრელთან ერთად შეიცავს დიდი რაოდენობის არაორგანულ აგრეგატულ მინარევებსა (მდინარის ქვიშას) და ორგანულ, თეთრი შეფერილობის გამჭვირვალე ბოჭკოებს.
- ✓ ტიპი 6 - ნალესობა, რომელიც შედგება კირის შემკვრელისგან და შეიცავს დიდი ზომისა და რაოდენობის ორგანულ ჩანართებს.

შემდეგ გვერდზე იხილეთ ნალესობის ფენის კვლევების შედეგების შეჯამების ცხრილი.



4. კვლევის შედეგები

ნალესობის ტიპი	შემადგენლობა 2021-22 წლის კვლევების მიხედვით	2024 წლის მარტში კვლევისთვის აღებული სინჯი (MCT, XRD, OP/ST)	ნალესობის მიკროსკოპული ფოტოები ტიპების მიხედვით	შემკვრელის ტიპი: 2024 წლის მარტის ქიმიური ანალიზების მიხედვით	კვლევის სტატუსი
ტიპი 1	არ არის გაკეთებული	1 (Ws_Pl_4)		კირის ბაზაზე (კარბონატული), არაორგანული დანალექით	მიმდინარე
ტიპი 2	Si – 8 (ST, OM-RL, HT, OM-TL) და 9 (ST, OM-RL, HT, OM-TL, FT-IR): შემკვრელი: კალციტი არაორგანული შემავსებელი: მდინარის ქვიამა ორგანული ჩანართი: ნამჯა პროპორცია: 2:1 N6_ 40: ორგანული ჩანართი: ცხვრის მატყლის ბეწვი და კანაფი	1 (Ws_Pl_5)		კირის ბაზაზე (კარბონატული), არაორგანული დანალექით	მიმდინარე
ტიპი 3	Si – 11 (OM-TL, FT-IR): შემკვრელი: კალციტი არაორგანული შემავსებელი: არ აქვს ორგანული ჩანართი: ნამჯა	6 (Sw_Pl_1, Sw_Pl_2.1, Ww_Pl_3.1, Ww_Pl_3.2, Ne1_2, Ws_Pl_6, Ne_Pl_9)		კირი (კარბონატული), ნალექის გარეშე	მიმდინარე
ტიპი 4	Si – 10 (ST, OM-RL, HT, OM-TL, FT-IR): შემკვრელი: მაგნიუმის კარბონატი არაორგანული შემავსებელი: მდინარის ქვიამა პროპორცია: 3:1	2 (Sw_Pl_2.2, Se_Pl_7)		კირის ბაზაზე (კარბონატული), არაორგანული დანალექით	მიმდინარე
ტიპი 5	Si – 12 (OM-TL) შემკვრელი: კალციტი არაორგანული შემავსებელი: მდინარის ქვიამა ორგანული ჩანართი: ნამჯა ? პროპორცია: 1:1	5 (Ne1_2, Ne2_1, Ne3_1, Nw_1, Ne_Pl_10) 1 (Ne_Pl_15 Transparent organic fibre)		კირის ბაზაზე (კარბონატული), არაორგანული დანალექით	მიმდინარე
ტიპი 6	არ არის გაკეთებული	1 (Ne_Pl_11)		კირის ბაზაზე (კარბონატული) ნალექის გარეშე	მიმდინარე

4. კვლევის შედეგები

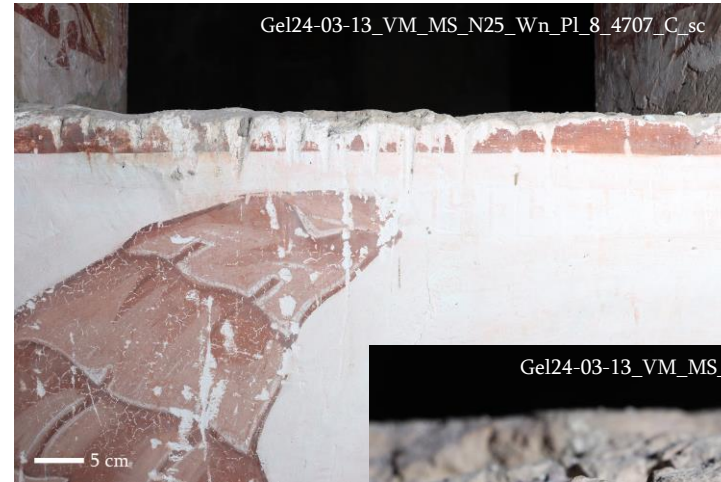
4.1 ნალესობის ფენის კვლევა

მხატვრობის ფენა 3 (XVII)

ღვთისმშობლის შობის სახელობის ტაძრის მთავარი სივრცის მკლავების მეჩვიდმეტე საუკუნის კედლის მხატვრობის ნალესობის შესწავლა ხორციელდება არაინვაზიური (ვიზუალური დაკვირვების, პორტატული მიკროსკოპის გამოყენებით) და ინვაზიური მეთოდებით.

ღვთისმშობლის შობის სახელობის ტაძრის მთავარი სივრცის დასავლეთი მკლავის პირველი რეგისტრის გვიანი მხატვრობის (XVII) ნალესობის ფენა ვიზუალურად შემადგენლობით ჰგავს XVI საუკუნის ნალესობის ფენის მესამე ტიპს - კირისა და ორგანული (ნამჯის) ჩანართების მიქსტურას.

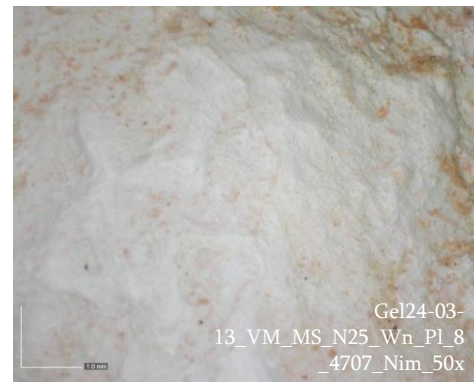
საველე ლაბორატორიული კვლევებით, მიკროქიმიური (მარილმჟავას) ანალიზის შედეგად ნალესობის ფენის შემკვრელი კარბონატული მასალაა (კირი) და არ შეიცავს დანალექ მასალას.



მარცხნივ და ქვემოთ: ღვთისმშობლის შობის ტაძრის დასავლეთი მკლავის პირველი რეგისტრი, მეჩვიდმეტე საუკუნის ფენა.



ქვემოთ: მიკროსკოპულ ფოტოებზე მოცემულია მეჩვიდმეტე საუკუნის ფენის ნალესობა, რომელიც კარბონატული ბუნებისაა და არ აქვს არაორგანული აგრეგატები.



4. კვლევის შედეგები

4.2 ფერწერის ფენის კვლევა

2023 წლის აპრილიდან - 2024 წლის თებერვლის ჩათვლით ღვთისმშობლის შობის სახელობის ტაძრის მთავარი სივრცის ფერწერულ ფენაზე განხორციელდა არაინვაზიური კვლევები (პორტატული მიკროსკოპის დახმარებით ფერწერული ფენების ვიზუალური შესწავლა). 2024 წლის მარტის მისიის ფარგლებში აქამდე არსებული კვლევების შედეგები შეჯამდა, განისაზღვრა ანალიტიკური კვლევის სტრატეგია (საკვლევი საკითხები და კვლევის არაინვაზიური და ინვაზიური მეთოდები) და გაგრძელდა ფერწერული ფენის შემდგომი კვლევითი სამუშაოები.

მხატვრობის ფენა 2 (XVI)

ღვთისმშობლის შობის ტაძრის მთავარი სივრცის ძირითადი ნაწილი დაფარულია XVI საუკუნეში შესრულებული ფერწერული ფენებით. მხატვრობა XVI საუკუნის რამდენიმე პერიოდს მოიცავს, რაც მხატვრობის სტილით განირჩევა. შესრულების ტექნიკის ძირითადი შტრიხები ერთია, თუმცა ვხვდებით ზოგიერთ განმასხვავებელ ნიშანს (მაგ. გარკვეული პიგმენტის გამოყენებას კონკრეტულ სქემებზე), რაც შესაძლოა მიუთითებდეს გელათში მომუშავე მხატვართა სხვადასხვა ჯგუფზე.

ფერწერული ფენის პირველადი შესწავლის, ვიზუალური დაკვირვებებისა და დახასიათებების შედეგად გამოიკვეთა შემდეგი საკვლევი საკითხები:

საკვლევი საკითხი 1: რისგან შედგება ფერწერის ძირითადი პალიტრა - მიწის პიგმენტების გამოყენება.

ვიზუალური დაკვირვებითა და მიკროსკოპული შესწავლის საფუძველზე მიწის პიგმენტების ფერების მიხედვით კატეგორიზაცია და მათი დახასიათება მოხდა. მიწის პიგმენტებში შესაძლოა გამოიყოს: ყვითელი, ორი შეფერილობის ნარინჯისფერი, სამი შეფერილობის წითელი და მწვანე. გამოყენებული პიგმენტები ძირითადად კარგ მდგომარეობაშია.

2021-2022 წლების ანალიტიკური კვლევის შედეგებით დასტურდება მიწის პიგმენტების უხვად გამოყენება (იხ. ანგარიში 24. 23 November 2022, Melica's report part II, გვ. 15; დანართები)

2024 წლის მარტის მისიის ფარგლებში ადგილზე გადამოწმდა ზემოთ გამოყოფილი პიგმენტების შემადგენლობა - ელემენტების არაინვაზიური კვლევა პორტატული რენტგენოფლუორესცენტრული სპექტროსკოპით. პიგმენტების ძირითად შემადგენლობაში დაფიქსირდა რკინისა და კალიუმის შემცველობა, რაც ადასტურებს მიწის პიგმენტების არსებობას, ამიტომ მათზე დამატებითი კვლევები არ იგეგმება.

მარჯვნივ: სამხრეთი კამარა, სამხრეთი კედელი, წმინდა მოემარი, დეტალი, სხვადასხვა მიწის პიგმენტის გამოყენების მაგალითი



4. კვლევის შედეგები

4.2 ფერწერის ფენის კვლევა

საკვლევი საკითხი 2: გამოყენებული ლურჯი პიგმენტები და მათი ალტერაცია

XVI საუკუნის ფერწერის ფენაზე გამოყენებულია სამი ტიპის ლურჯი, რომელთაც ვიზუალური დაკვირვებისას მიენიჭა შემდეგი სახელდებები: მუქი ლურჯი, ღია ლურჯი და მომწვანო ლურჯი (იხ. გელათის ღვთისმშობლის შობის ტაძრის მთავარი სივრცის კედლის მხატვრობის შემაჯამებელი ანგარიში, 2023 აპრილი - 2024 თებერვალი).

მუქი ლურჯი გამოყენებულია დასავლეთი მკლავის კამარასა და სულ ზედა (IV) რეგისტრზე: სცენები C14, S7, S8, W6, N5, N6. ამ სცენებზე მხოლოდ ერთი ტიპის ლურჯს ვხვდებით, როგორც ფონისთვის, ისევე სამოსებზე თუ სხვა დეკორატიულ ელემენტებზე, სუფთა ან ნარევი სახით. მუქი ლურჯი ასევე გამოყენებულია ჩრდილოეთი მკლავის ჩრდილოეთი კედლის ზედა (IV) რეგისტრზე, სცენა N 7, კოსმოსის გამოსახულებაზე, თადის ფონად სუფთა სახით და წმინდანთა სამოსებისთვის ნარევის ან სუფთა სახით.

2021-2022 წლების ანალიტიკური კვლევის შედეგებით მუქი ლურჯი იდენტიფიცირებულია, როგორც **სმალტა** (იხ. ანგარიში 24. 23 November 2022, Melica's report part II, გვ. 15). 2024 წლის მარტის მისიის ფარგლებში მუქი ლურჯი პორტატიული რენტგენოფლოუორესცენტრული სპექტროსკოპით გადამოწმდა ლოკაციებში, 1. სადაც წინა კვლევებიდან უკვე იდენტიფიცირებული/დადასტურებული იყო სმალტის არსებობა, 2. სადაც, კვლევები არ იყო ჩატარებული და საჭიროებდა იდენტიფიცირებას.

XRF-ის მონაცემებით მუქი ლურჯის ყველა საანალიზო არეზე პროცენტულად ჭარბობს ელემენტი კობალტი (Co), რაც ადასტურებს სმალტის არსებობას.

დასავლეთი მკლავის დასავლეთ კედელზე და კამარაში, ვხვდებით ადგილებს, სადაც ამ ტიპის ლურჯი დაზიანებულია. ლურჯის ადგილას შეინიშნება უსარჩულო მომწვანო-ლურჯის ძალიან თხელი ფენა, რომელიც არათანაბრად არის გადანაწილებული ზედაპირზე. 2021-22 წლის კვლევების მიხედვით აღნიშნული ლურჯი იდენტიფიცირებულია, როგორც **კობალტ-ქრომის ლურჯი**. პორტატიული რენტგენოფლოუორესცენტრული სპექტროსკოპი გამოყენებულ იქნა უკვე ნაკვლევი ლოკაციების გადასამოწმებლად და იგივე სახის ლურჯების სხვა ლოკაციებზე საიდენტიფიკაციოდ. XRF-მა კობალტისა და ქლორის მცირე რაოდენობა დააფიქსირა, რაც ადასტურებს აქამდე არსებული ანალიტიკური კვლევის შედეგებს.

მომწვანო-ლურჯის ინდენტიფიცირებით გამოიკვეთა შემდეგი ეტაპის საკვლევი საკითხი: მომწვანო-ლურჯი არის შედგომი შეკეთების/რესტავრაციის დროს გამოყენებული საღებავი, თუ ეს არის სმალტის ალტერაციის ერთ-ერთი ეტაპი?

კვლევისთვის სინჯების აღება მოხდა დაუზიანებელი და დაზიანებული არეებიდან. სინჯით დამზადდება ჭრილი, რაც ოპტიკური მიკროსკოპითა და ელექტრო მიკროსკოპული სკანერისა და ენერჯის დისპერსიული რენტგენის სპექტროსკოპიით (SEM- EDX) სტრატეგრაფიულად და ელემენტარული შემცველობით გაანალიზდება.



4. კვლევის შედეგები

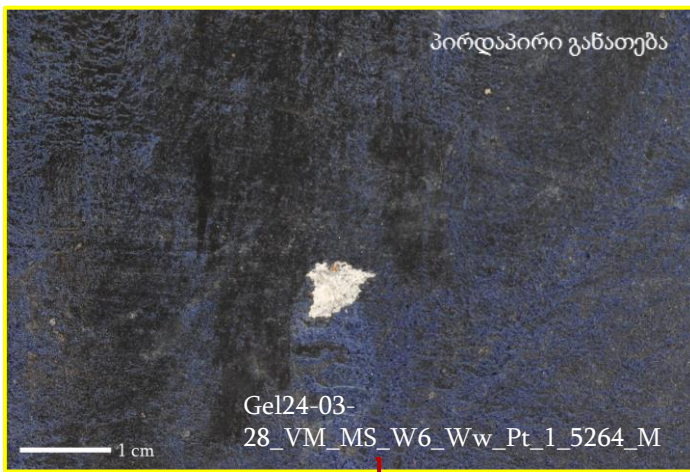
4.2 ფერწერის ფენის კვლევა

საკვლევი საკითხი 2: გამოყენებული ლურჯი პიგმენტები და მათი ალტერაცია

2021-22 წლებში ლურჯი ფერის ანალიტიკური კვლევისთვის სინჯების აღება მოხდა დასავლეთი მკლავის დასავლეთი კედლიდან (ლოცვა გეტსიმანიის ბაღში), ნალესობიანი სინჯების აღება დაუზიანებელი მონაკვეთებიდან მოახდინეს. მუქი ლურჯი იდენტიფიცირდა როგორც სმალტა, ხოლო სახეცვლილი/ღია ლურჯი როგორც კობალტ-ქრომის ლურჯი (იხ. ანგარიში 24. 23 November 2022, Melica's report part II.). აღნიშნულ კვლევაში ლურჯების დაზიანების მექანიზმი არ განსაზღვრულა. შესაბამისად, 2024 წლის მარტის მისიის ფარგლებში გადაწყდა აღნიშნული ლურჯის ალტერაციის მიზეზების დადგენა და ტექნოლოგია/გადახატვის განსაზღვრა. დამატებითი კვლევებისთვის სინჯების აღება იმავე ლოკაციიდან მოხდა, ვინაიდან ფერწერა უკვე დაზიანებული იყო.



მარცხნივ:
დასავლეთ კამარის
დასავლეთ კედლის
ზედა რეგისტრი,
ქრისტე
გეტსიმანიის ბაღში,
მუქი ლურჯის
საკვლევი არეალი.

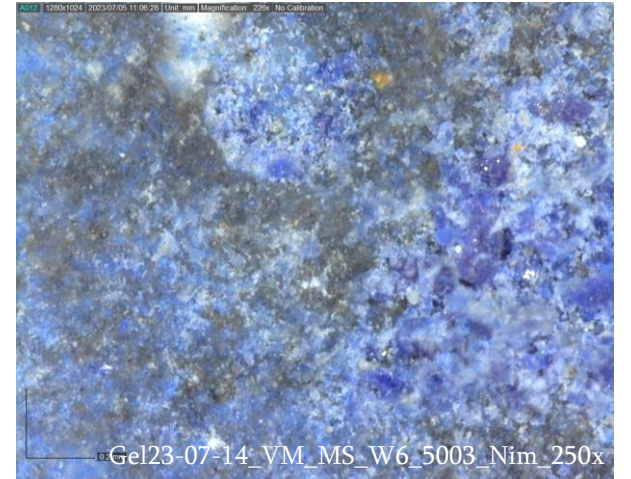


მარცხნივ: კარგად
შემონახული ადგილი,
საიდანაც აღებულია
სინჯი შემდგომი
კვლევებისთვის.

მარჯვნივ:
დაზიანებული
არეალი,
საიდანაც
აღებულია სინჯი
შემდგომი
კვლევებისთვის.



მარჯვნივ:
დაუზიანებელი
ადგილი
პორტატული
მიკროსკოპით, 250X
გადიდებით, სადაც
კარგად ჩანს
სმალტისთვის
დამახასიათებელი
სტრუქტურა.



4. კვლევის შედეგები

4.2 ფერწერის ფენის კვლევა

საკვლევი საკითხი 2: გამოყენებული ლურჯი პიგმენტები და მათი ალტერაცია

ღია ლურჯი გამოყენებულია მხოლოდ ჩრდილოეთი მკლავის კამარაზე და ზედა ორი რეგისტრის სცენებზე (C13, W7, W11, N7, N11, N12, E5, E7(?)) როგორც ფონზე, სუფთა სახით, ასევე სამოსზე და დეკორატიულ ელემენტებზე ძირითადად ნარევების სახით. აღსანიშნავია, რომ ჩრდილოეთ კედლის ამ ნაწილში ლაზურიტთან ერთად ვხვდებით გამოყენებულ სმალტას დეკორატიულ ელემენტებისთვის, და ასევე მესამე ტიპის ლურჯს, მომწვანო ლურჯს, რომელიც უხვადაა გამოყენებული ჩრდილოეთი კედლის ზედა რეგისტრის წმინდანთა სამოსებზე.

2021-2022 განხორციელებული კვლევების მიხედვით ღია ლურჯი იდენტიფიცირებულია, როგორც **ხელოვნური ლაზურიტი** (იხ. ანგარიში 24. 23 November 2022, Melica's report part II, გვ. 15). მთავარ სივრცეში თუკი ხელოვნური ლაზურიტია გამოყენებული, მაშინ იგი შეკეთების დროინდელი უნდა იყოს, ვინაიდან ხელოვნური ლაზურიტის გამოყენება XIX საუკუნიდან იწყება.

ამ კუთხით გასათვალისწინებელია ორი ფაქტორი:

1) ვიზუალური მახასიათებლებით ღია ლურჯი (იდენტიფიცირებული, როგორც ხელოვნური ულტრამარინი) გამოყენებულია არამხოლოდ ფონებზე, არამედ სამოსის დამუშავებებშიც, სადაც ფერწერა კარგ მდგომარეობაში. შესაბამისად, გადასამოწმებელია 2021-22 წლის ანალიტიკური კვლევის შედეგები და ნათლად არის განსასაზღვრი ორიგინალი და რესტავრირებული ფერწერული ფენები და მათი გამიჯვნის მეთოდები.

2) სცენების ფონზე წარწერები ლაზურიტის ფენის ზემოდანაა გაკეთებული. თუ ეს ფენა რესტავრაციის დროინდელია, წარწერებიც რესტავრაციის დროინდელი უნდა იყოს.

ზემოთ მოცემული ინფორმაციიდან გამომდინარე ლაზურიტთან დაკავშირებით შემდეგი საკვლევი საკითხები გამოიკვეთა:

- რა შემადგენლობისაა ღია ლურჯი პიგმენტი? ხელოვნულია და ბუნებრივი ლაზურიტია? პიგმენტი მხატვრობის სქემის თანადროულია (ორიგინალია) თუ შემდგომ პერიოდში განხორციელებული შეკეთებისას (გაცხოველებისთვის) იქნა გამოყენებული?

- რისგან შედგება ღია ლურჯის სარჩული? რა არის სარჩულის დაზიანების მექანიზმი (ფერის ცვლილება შავიდან-თეთრამდე)?

საკვლევის საკითხების გათვალისწინებით ჩრდილოეთი კამარიდან აღებულ იქნა დაუზიანებელი სარჩულის მქონე ღია ლურჯი ფერწერის სინჯი, რათა დადგინდეს ფერწერის სტრატეგრაფია, სარჩულის შემადგენლობა და პიგმენტის სახეობა (ბუნებრივი ლაზურიტია თუ ხელოვნური).

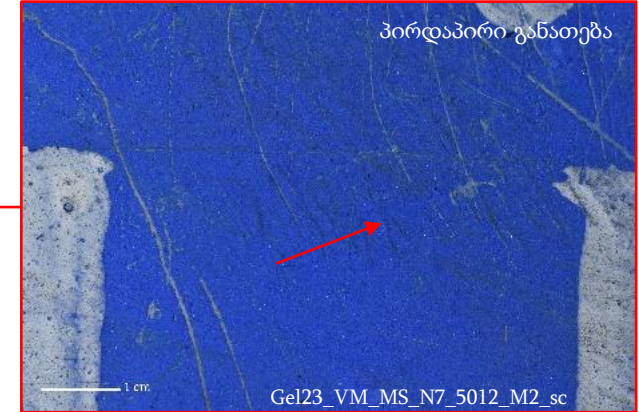
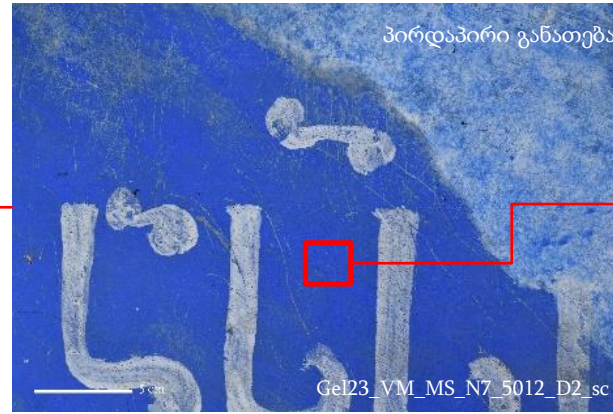
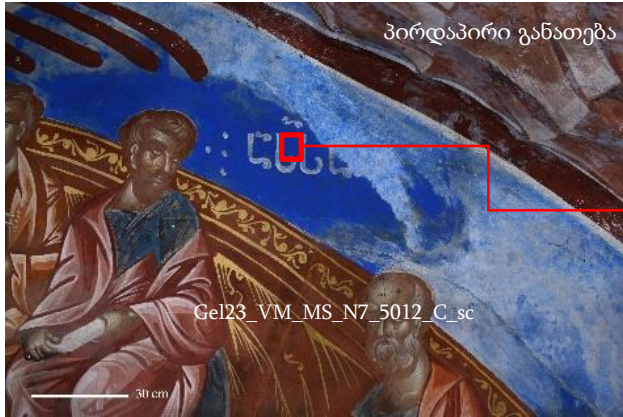
სინჯით დამზადდება ჭრილი, რაც ოპტიკური მიკროსკოპითა და ელექტრო მიკროსკოპული სკანერისა და ენერჯის დისპერსიული რენტგენის სპექტროსკოპიით (SEM-EDX) სტრატეგრაფიულად და ელემენტარული შემცველობით გაანალიზდება.



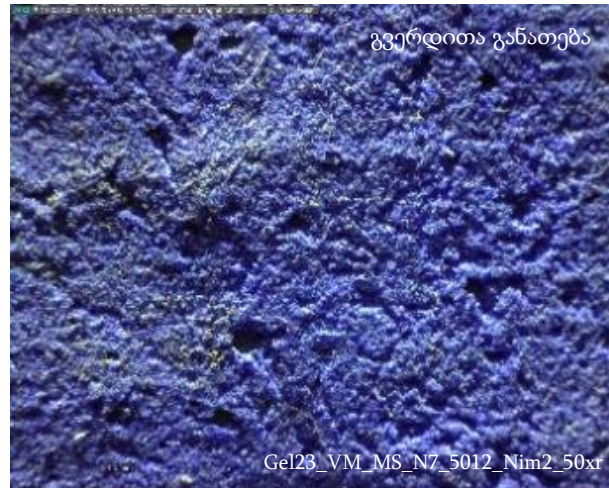
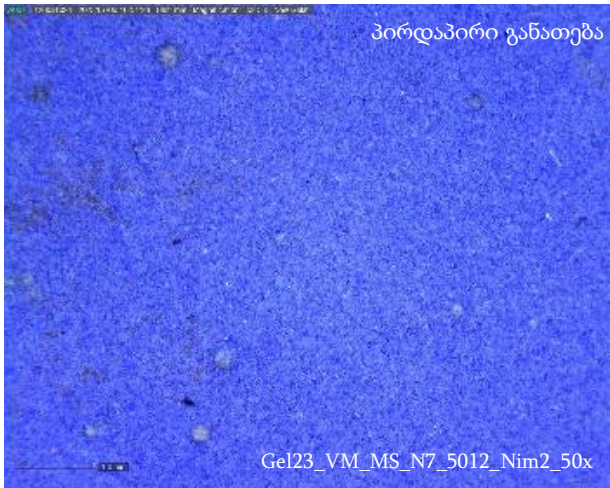
4. კვლევის შედეგები

4.2 ფერწერის ფენის კვლევა

საკვლევი საკითხი 2: გამოყენებული ლურჯი პიგმენტები და მათი ალტერაცია



ზემოთ: ჩრდილოეთი მკლავის ჩრდილოეთ კედელი. გამოყენებული ღია ლურჯი, დაუზიანებელი და დაზიანებული არეალით.



მარცხნივ: საკვლევი არეალის ფოტო პორტატული მიკროსკოპით, 250-იანი გადიდებით.

4. კვლევის შედეგები

4.2 ფერწერის ფენის კვლევა

საკვლევი საკითხი 2: გამოყენებული ლურჯი პიგმენტები და მათი ალტერაცია

XVI საუკუნის მხატვრობის ძირითად ნაწილზე, დასავლეთი მკლავის კამარის დონის გარდა, გამოყენებულია მესამე ტიპის, **მომწვანო ლურჯი**. აღნიშნული ლურჯი ჩრდილოეთი კამარის ზედა რეგისტრებზე მხოლოდ ტანისამოსის დამუშავებაში გვხვდება, ხოლო მთავარი სივრცის დარჩენილ სცენებზე ფონების, სამოსისა და დეკორატიული ელემენტების დაფერვისთვის გამოიყენება.

2021-2022 წლებში განხორციელებული ანალიტიკური კვლევის მიხედვით ჩრდილოეთი კედლის სამოსიდან აღებული მომწვანო ლურჯი ფერწერის სინჯი წარმოადგენს აზურიტს. ვიზუალური დაკვირვებით აღნიშნული ლურჯის ალტერაციის ფორმა - მწვანეში გარდამავალი ფერი - ბევრ ადგილას შეიმჩნევა. აღნიშნული ცვლილება აზურიტის ლურჯისთვის დამახასიათებელია.

2023 წლის აპრილი - 2024 წლის მარტის პერიოდში განხორციელებული ვიზუალური დაკვირვებით შეინიშნება სხვადასხვა გრანულომეტრიის აზურისტი, მაგ. სამხრეთი მკლავის ზედა რეგისტრებში შედარებით წვრილი ფრაქციისაა და ერთგვარევი ფენადაა დადებული, დასავლეთი მკლავის ქვედა რეგისტრებში კი უფრო მსხვილი ფრაქციისაა და დადებულია ძალიან თხლად, ისე, რომ სარჩული ქმნის ძირითად ტონალობას, აზურისტი კი მხოლოდ საბოლოო ფერს განსაზღვრავს. 2024 წლის მარტის მისიის ფარგლებში აზურიტის გადამოწმება თითქმის ყველა სცენაზე მოხდა.

საანალიზებულ არეებში პორტატული რენტგენოფლოუორესცენტრული სპექტროსკოპიით გაკეთებულმა ანალიზებმა დიდი რაოდენობით სპილენძი (Cu) დააფიქსირა. პიგმენტის იდენტიფიკაცია ექვგარეშეა და ადასტურებს აზურიტის გამოყენებას. საკვლევი საკითხები კი შემდეგი მიმართულებით იკვთება:

1) პიგმენტის ალტერაცია:

- თითქმის ყველაგან, მაშინაც კი როცა შეუიარაღებელი თვალით ალტერაცია არ შეიმჩნევა, პორტატული მიკროსკოპის ქვეშ მკვეთრად განირჩევა სრულად სახეცვლილი პიგმენტი, ღია მწვანე ნაწილაკები, რაც ალტერაციის დასაწყისის მაუწყებელია;
- ზოგიერთ ადგილას, იქ სადაც უნდა იყოს ლურჯი, არის ინტენსიურ ნეონის მწვანე. ესეც სავარაუდოდ აზურიტის ერთ-ერთი სახესხვაობა უნდა იყოს;

არის თუ არა ეს ორივე ფენომენი ნამდვილად პიგმენტის ალტერაცია და რა ტიპის ალტერაციაა, ამის დასადგენად საჭირო გახდა სინჯის აღება, ოპტიკური მიკროსკოპითა და ელექტრო მიკროსკოპული სკანერისა და ენერჯის დისპერსიული რენტგენის სპექტროსკოპიით (SEM-EDX) შესწავლა.

2) ფერწერული ფენის დანაკარგი - აზურისტით შესრულებული მხატვრობის შემთხვევაში, ზოგიერთ ადგილას ვხვდებით ფერწერული ფენის სრულ დანაკარგს, სადაც შემორჩენილია, პიგმენტის რამდენიმე ნაწილაკი, რომელის დანახვაც მხოლოდ პორტატული მიკროსკოპის ქვეშაა შესაძლებელი. აღსანიშნავია, რომ დაკარგულ ადგილებში აზურიტს აღენიშნება ერთი ტიპის სარჩული: თეთრი, სქელი მონასმებით და შუქ-ჩრდილების აქტიური გამოყენებით თითქმის ბოლომდე დასრულებული მხატვრობით.



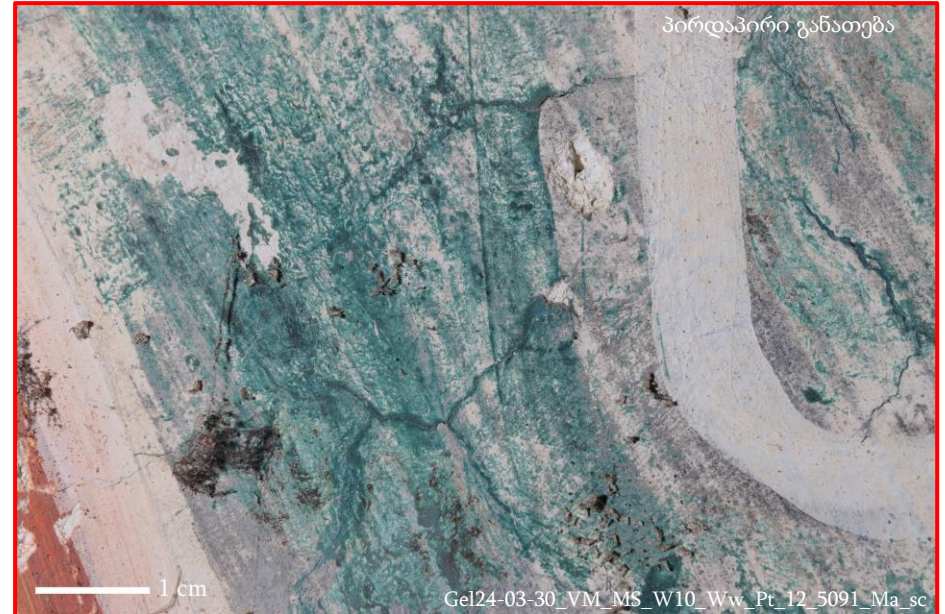
4. კვლევის შედეგები

4.2 ფერწერის ფენის კვლევა

საკვლევი საკითხი 2: გამოყენებული ლურჯი პიგმენტები და მათი ალტერაცია

აღსანიშნავია, რომ იგივე სარჩული სრულად შემორჩენილი აზურიტის ქვეშაც შეიმჩნევა. რასთანაა დაკავშირებული ამ ტიპის დანაკარგები და რა იწვევს მას, ამისთვის დამატებითი კვლევებია საჭირო.

ქვემოთ: დასავლეთი მკლავის დასავლეთი კედელი, ხარების კომპოზიცია. აზურიტის ალტერაციის ერთ-ერთი მაგალითი.



4. კვლევის შედეგები

4.2 ფერწერის ფენის კვლევა

საკვლევი საკითხი 3: დეკორატიულ ელემენტებად გამოყენებული ძვირფასი მეტალები - ოქრო

ღვთისმშობლის შობის ტაძრის მთავარ სივრცეში XVI საუკუნის მხატვრობაზე ოქრო გამოყენებულია სამხრეთი მკლავის ყველა სცენაზე, ჩრდილოეთი მკლავის ქტიტორთა სცენაზე და განსაკუთრებულად უხვად ვხვდებით აღმოსავლეთ მკლავში. აღმოსავლეთ მკლავში ოქროს გამოყენება, სავარაუდოდ, დაკავშირებულია როგორც ორიგინალ ტექნოლოგიასთან ავთენტურ ფენასთან, ასევე შეკეთებებთან, შემდგომი პერიოდის გაცხოველებასთან. 2024 წლის მარტში სათანადო წვდომის არქონის გამო საკურთხეველში არ განხორციელებულა დამატებითი კვლევები.

ვიზუალური დაკვირვებით და პორტატული მიკროსკოპით ოქროს გამოყენების ადგილების უმრავლესობა იდენტიფიცირებული იყო წინა თვეებში განხორციელებული კვლევების დროს. მეტალის სრული დანაკარგით განპირობებული რთულად განსასაზღვრი ზოგიერთი ლოკაცია 2024 წლის მარტის მისიის ფარგლებში პორტატული რენტგენოფლუორესცენტრული სპექტროსკოპითა და მულტისპექტრული ფოტოგადაღებით გადამოწმდა.

სამხრეთ მკლავში ოქრო გამოყენებულია შარავანდედებზე, სამხრეთ კედელზე ღვთისმშობლის ციკლისთვის ღვთისმშობლის სამოსის დეკორატიულ ელემენტებზე.

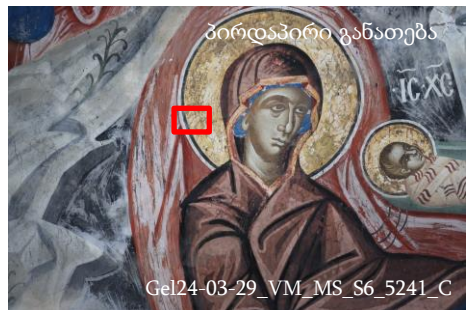
ჩრდილოეთ კედელზე ოქრო მხოლოდ ქტიტორქთა სცენისთვისაა გამოყენებული, მხოლოდ რამდენიმე ქტიტორის შარავანდედზე (აღსანიშნავია, რომ დავით აღმაშენებლის შარავანდედზე არ არის), ასევე ფიგურათა სამოსის დეკორატიულ ელემენტებზეც.

პორტატული რენტგენოფლუორესცენტრული სპექტროსკოპით დაფიქსირდა ოქრო (Au) და სხვა მეტალის ელემენტები.

ოქროს შემცველობის განსასაზღვრად მნიშვნელოვანია ფერწერული ფერის ჭრილის დათვალაიერება და მასზე დამატებითი ანალიზების ჩატარება. შესაბამისა რამდენიმე ლოკაციიდან აღებულ იქნა სინჯები, რათა განისაზღვროს:

- ფურცლოვანი ოქროა გამოყენებული თუ არა;
- ოქროა გამოყენებული თუ ოქროს იმიტაციაა;
- რა ტიპის სარჩული აქვს.

ქვემოთ: და მარჯვნივ სამხრეთი მკლავის სამხრეთი კედელი, შობის სცენა. ღვთისმშობლის შარავანდედზე გამოყენებული ოქრო



4. კვლევის შედეგები

4.2 ფერწერის ფენის კვლევა

საკვლევი საკითხი 4: ტყვიის პიგმენტები და მათი ალტერაცია მთავარი სივრცის XVI საუკუნის მხატვრობის უმეტეს ნაწილში შესამჩნევია სახეცვლილი პიგმენტები, რომელიც გამოყენებულია, როგორც ცალკეულ მონასმებად, ასევე ზოგიერთ შემთხვევაში საბაზისო ფერადაც კი. სახეცვლილ პიგმენტებს დიდი მასშტაბით სამოსსა და/ან დრაპირებაზე ვხვდებით.

პიგმენტების ალტერაციის (გაშავების) ფენომენი გვხვდება სამხრეთ მკლავის ყველა სცენაზე, დასავლეთ მკლავის შუა რეგისტრებზე და ჩრდილოეთი მკლავის სცენებზე.

ტყვიის პიგმენტების გამოყენების სხვადასხვა შემთხვევა გვხვდება XVI საუკუნის ფერწერის ფენაზე:

1) თეთრი - ზოგ შემთხვევაში ალტერაციის (გაშავების) პროცესი ბოლომდე არაა დასრულებული, ამიტომ ნათლად ჩანს რა ფერის პიგმენტია გამუქებული: მონასმების შემთხვევაში ვხვდებით თეთრს, ან თეთრნარევ საღებავს. იქ, სადაც ვიზუალური დაკვირვებებით განიხილებოდა ტყვიის პიგმენტების არსებობა, პორტატული რენტგენოფლოუორესცენტრული სპექტროსკოპიით დადასტურდა ელემენტ ტყვიის (Pb) დიდი ოდენობით შემცველობა. შესაბამისად ტყვიის თეთრის არსებობა ცალსახაა.



ზემოთ: სამხრეთი მკლავის სამხრეთი კედელი, შობის სცენა. გამოყენებული თეთრი ტყვიის პიგმენტების ალტერაციის - გაშავების მაგალითი ანგელოზთა ფრთებზე.

4. კვლევის შედეგები

4.2 ფერწერის ფენის კვლევა

საკვლევი საკითხი 4: ტყვიის პიგმენტები და მათი ალტერაცია

ფერწერულ ფენაზე გამოყენებული პიგმენტებისა და მათი შემკვრელების დახასიათებისა და გავრცელების მასშტაბის განსაზღვრის მიზნით განხორციელდა არაინვაზიური კვლევის მეთოდი - მულტისპექტრული ფოტოგადაღება.

მულტისპექტრული ფოტოგადაღების ლოკაციად შეირჩა ადგილი, სადაც ფიქსირდებოდა დაუზიანებელი თეთრი ფერის მონასმები და სახეცვლილი, გაშავებული მონაკვეთები.

მულტისპექტრული გადაღებისას ულტრაიისფერი სხივების ზემოქმედებით ყვითელი ფერის ლუმინესცენცია დაფიქსირდა დაუზიანებელ მონაკვეთებში, სადაც თეთრი პიგმენტი ხილულ სპექტრში ჯერ კიდევ განირჩევა.

თეთრი ფერწერული ფენის ლუმინესცენციის მონაკვეთები დამატებით გამოკვლეულ იქნა პორტატული რენტგენოფლოუორესცენტრული სპექტროსკოპიით, სადაც დაფიქსირდა ტყვიის (Pb) შემცველობა.

მულტისპექტრული ფოტოგადაღებისა და XRF-ის წინასწარული შედეგებით შესაძლოა ითქვას, რომ თეთრი ფერწერული ფენა არის ტყვიით თეთრა, ხოლო ლუმინესცენცია შესაძლოა უკავშირდებოდეს ორგანულ შემკვრელის არსებობას, რომელიც ტყვიის პიგმენტთან ერთად არის გამოყენებული. სახეცვლილ/გაშავებულ ლოკაციებზე ლუმინესცენციის არ ქონა შესაძლოა მიუთითებდეს შემკვრელის დეგრადაციაზე და/ან ალტერირებული ტყვიის პატინის არსებობაზე, რომელიც ახშობს ლუმინესცენციას. ამ მიმართულებით კვლევა მიმდინარეა.



4. კვლევის შედეგები

4.2 ფერწერის ფენის კვლევა

საკვლევი საკითხი 4: ტყვიის პიგმენტები და მათი ალტერაცია

2) ღია ყვითელი - მოდელირებაში (ამონათებებში) თეთრთან ერთად ხშირად გამოიყენება ყვითელი, რომელიც ნათელი და ინტენსიური ფერია. ხშირად ის ნარევის სახითაა, ზოგირთ შემთხვევაში კი, სავარაუდოდ, სუფთა სახითაც არის წარმოდგენილი. მოყვითალო შეფერილობის მონასმებში, ან ნათელ ყვითელის გამოყენების ლოკაციებში პორტატული რენტგენოფლოუორესცენტრული სპექტროსკოპიით ტყვიასთან (Pb) ერთად კალაც (Sn) ფიქსირდება, რაც შესაძლოა კალა-ტყვიის ყვითლის არსებობაზე მიუთითებდეს. აღსანიშნავია, რომ აღნიშნული ყვითელი კარგ მდგომარეობაშია შემონახული და მისი ალტერაცია უმეტეს შემთხვევაში არ შეინიშნება.

3) წითელი - სავარაუდოა, რომ ტყვიის წითელი მონასმებისა და ფონების სახით გამოყენებული იყო დრაპირებებზე, სამოსებსა და დეკორატიულ ელემენტებზე. ამჟამად, აღნიშნული მონაკვეთები სრულად სახეცვლილია - გაშავებულია და პორტატული მიკროსკოპით დაუზიანებელი პიგმენტი ვერ აღიქმება.

სამივე შემთხვევისთვის აღებულ იქნა სინჯები. სინჯით დამზადდება ჭრილი, რაც ოპტიკური მიკროსკოპითა და ელექტრო მიკროსკოპული სკანერისა და ენერჯის დისპერსიული რენტგენის სპექტროსკოპიით (SEM- EDX) სტრატეგრაფიულად და ელემენტარული შემცველობით გაანალიზდება. ასევე განისაზღვრება დაზიანების მექანიზმი.



Gel24-03-24_VM_MS_E6_5259_D

*მარჯვნივ: დასავლე
თი მკლავის
ჩრდილოეთ კედელი,
ტყვიის პიგმენტის
ალტერაციის
მაგალითი.*

*მარცხნივ: სამხრეთ მკლავის
აღმოსავლეთ კედელი, ღია
ყვითელის გამოყენების
მაგალითი ანგელოზის
ფრთხების მოდელირებაში*



Gel23-10-12_VM_MS_N9_5068_C_sc

4. კვლევის შედეგები

4.2 ფერწერის ფენის კვლევა

საკვლევი საკითხი 5: წითელი პიგმენტების გამოყენება

მთავარი სივრცის XVI საუკუნის ფერწერის ფენაზე გამოყენებულია ინტენსიური წითელი პიგმენტი, რომელიც ზოგჯერ ქვედა ფენად გვხვდება, ზოგჯერ ნარევის სახით, და გვამღევეს ვარდისფერ ტონალობას. იქ, სადაც გამოყენებულია ზედა ფენად, შეინიშნება მისი ალტერაცია. ვიზუალური დაკვირვებით ეს პიგმენტი იდენტიფირდა როგორც ვერმილიონი, რაც დადასტურდა კიდევ პორტატული რენტგენოფლოუორესცენტრული სპექტროსკოპით: ვერცხლისწყლის (Hg) მაღალია შემცველობა გამოიკვეთა.

ვერმილიონის გამოყენებას ვხვდებით უხვად სამხრეთ მკლავში, როგორც სუფთა, ასევე ნარევის სახით. აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ ვერმილიონი ასევე გამოყენებულია სამხრეთი მკლავის სარკმელების წირთხლებში.

როცა ვერმილიონი ნარევის სახითაა, პორტატული რენტგენოფლოუორესცენტრული სპექტროსკოპით ანალიზისას ვერცხლისწყალთან (Hg) ერთად სხვა მეტალებიც ფიქსირდება: ტყვია (Pb), სპილენძი (Cu) და სხვა. პორტატული მიკოსკოპით დაკვირვებისას კი შეინიშნება ლუჯი პიგმენტების ჩართულობა. ხშირ შემთხვევაში ამ ტიპის მეწამულისფერი ფენა გამუქებულია. მას ძირითადად ვხვდებით ქტიტორთა სამოსებზე და სამკაულებზე.

ფერწერული ფენების შრეობრიობის დასადგენად, ვერმილიონისა და მისი მიქსტურების გამოყენების დასადასტურებლად აღებულ იქნა სინჯები.

სინჯებით დამზადდება ჭრილი, რაც ოპტიკური მიკროსკოპითა და ელექტრო მიკროსკოპული სკანერისა და ენერჯის დისპერსიული რენტგენის სპექტროსკოპით (SEM-EDX) სტრატეგრაფიულად და ელემენტარული შემცველობით გაანალიზდება.



ქვემოთ: პორტატული მიკროსკოპით გადაღებული საკვლევი არეალი, 250-იანი გადიდებით. ჩანს ლურჯი პიგმენტების ჩანართები



ზემოთ: ჩრდილოეთი მკლავის აღმოსავლეთ კედელი, წმ. კონსტანტინეს და წმ. ელენეს სცენა. მეწამულისფერი წითელის გამოყენება სამოსზე



4. კვლევის შედეგები

4.3 მარილის კვლევა

ვიზუალური დაკვირვების შედეგად ზედაპირზე გამოკრისტალებული მარილის ოთხი ფორმა გამოვლინდა:

- ნაფიფეი
- ქერქი
- წერტილოვანი კრისტალიზაცია
- თეთრი ლაქები

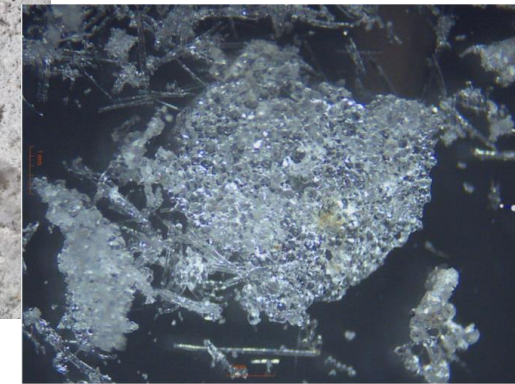
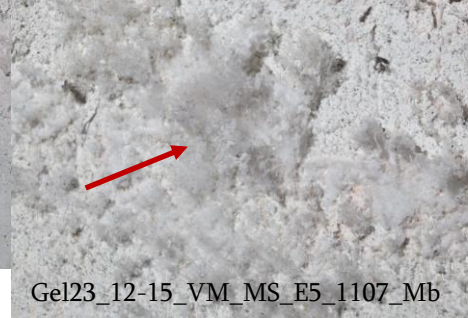
2024 წლის დეკემბერში სინჯის აღება ოთხივე ტიპის მარილიდან მოხდა, ანალიტიკური კვლევის (OM, XRD) შედეგად გამოვლინდა, რომ:

ნაფიფეი მარილები (სინჯები: 1, 5, 8, 9) წარმოადგენენ კალიუმის ნიტრატს [KNO₃]

კვლევის (ლაუე 2024) დეტალური ანგარიში იხილეთ დანართი 1:.



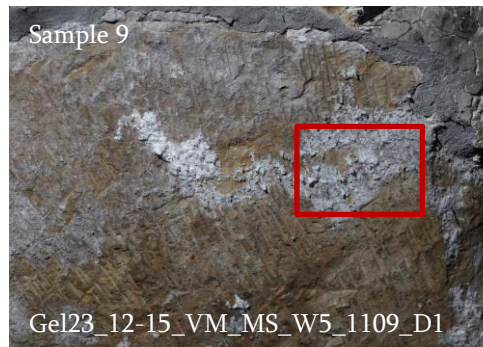
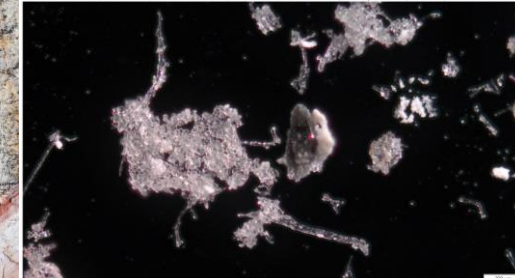
ქვემოთ: ღვთისმშობლის ტაძრის ჩდრილოეთი მკლავი (E5). ნაფიფეი მარილის N1 სინჯის აღების ლოკაცია და კალიუმის ნიტრატის მიკროსკოპული ფოტო.



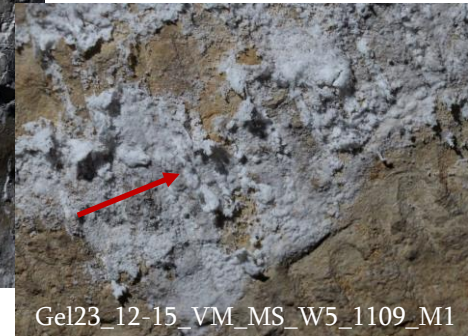
ქვემოთ: ღვთისმშობლის ტაძრის დასავლეთი მკლავი (S5). სინჯი 8.



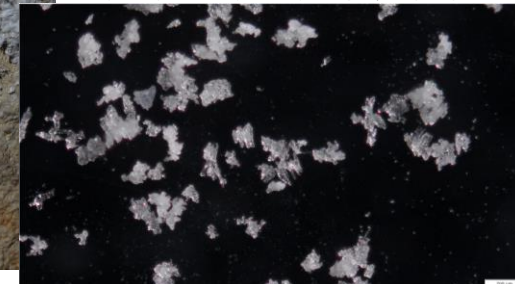
ქვემოთ: სინჯი 8: კალიუმის ნიტრატის მიკროსკოპული ფოტო.



ქვემოთ: ღვთისმშობლის ტაძრის სამხრეთი მკლავი (W5). სინჯი 9.



ქვემოთ: სინჯი 9: კალიუმის ნიტრატის მიკროსკოპული ფოტო.



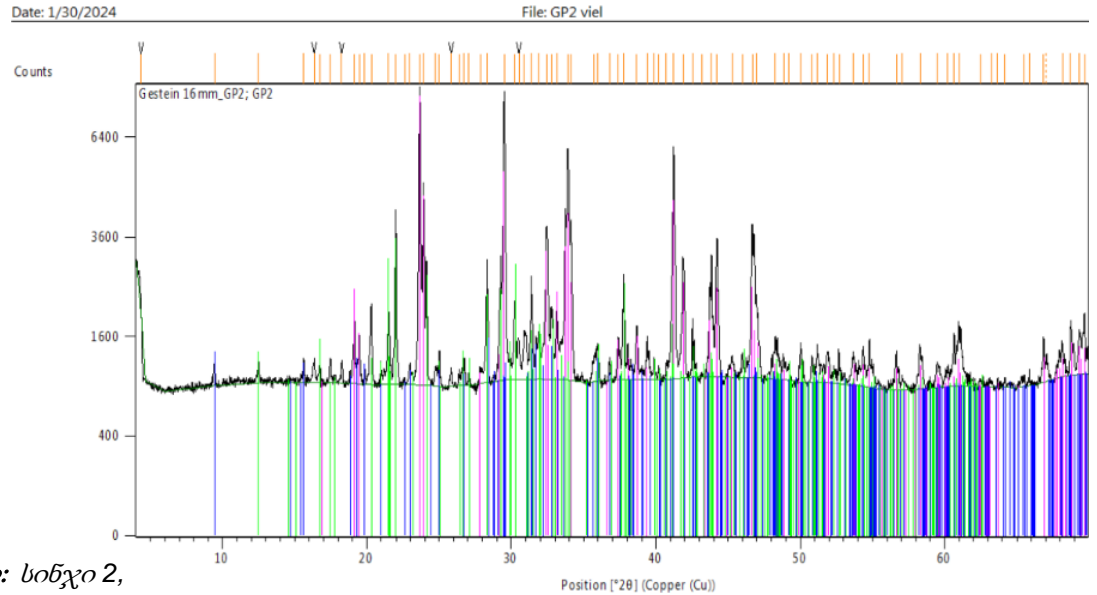
4. კვლევის შედეგები

4.3 მარილის კვლევა

ანალიტიკური კვლევის (OP, XRD) შედეგად გამოვლინდა, რომ:

ქერქისებრი მარილების (სინჯები: 2, ნაწილობრივ 5) შემცველობაშიც ფიქსირდება კალიუმის ნიტრატი $[KNO_3]$ და მცირე რაოდენობით პიკრომერიტი $[K_2Mg(SO_4) \cdot 2 \cdot 6H_2O]$, და სინგენიტი $K_2Ca(SO_4) \cdot 2 \cdot H_2O]$

კვლევის (ლაუე 2024) დეტალური ანგარიში იხილეთ დანართი 1.

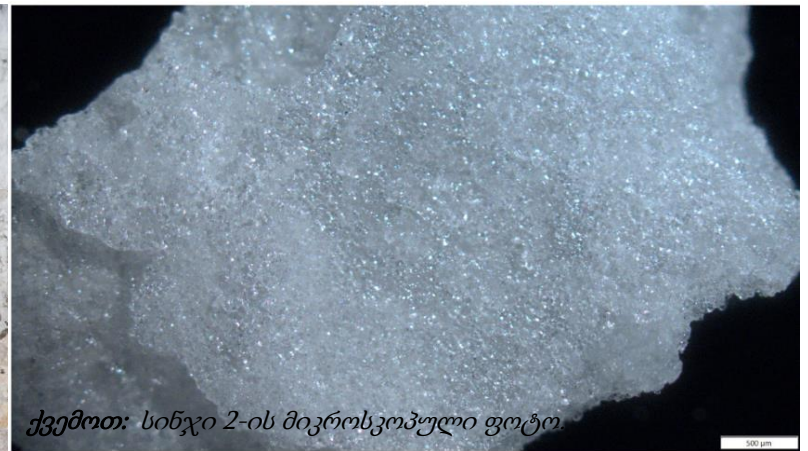


Peak List
98-001-0289; K1 N1 O3; Nitre; Nitre; Orthorhombic
98-002-6772; H12 K2 Mg1 O14 S2; Picromerite; Picromerite; Monoclinic
98-002-0460; H2 Ca1 K2 O9 S2; Syngenite; Syngenite; Monoclinic



მარჯვნივ: სინჯი 2, XRD-ის სპექტროგრამაზე დაფიქსირებული კალიუმის ნიტრატი და სულფატური მარილები.

ზემოთ და მარჯვნივ: ღვთისმშობლის ტაძრის ჩრდილოეთი მკლავი (E5). სინჯი 2-ის აღების ლოკაცია.



ქვემოთ: სინჯი 2-ის მიკროსკოპული ფოტო

4. კვლევის შედეგები

4.3 მარილის კვლევა

ანალიტიკური კვლევის (OP, XRD) შედეგად გამოვლინდა, რომ:

წერტილოვანი

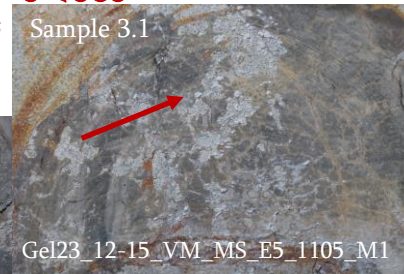
კრისტალიზაციის ძირითად მარილს წარმოადგენს მაგნიუმის შემცველი კარბონატები: ორ

შემთხვევაში (სინჯები: 3.1, 3.2) ფიქსირდება დიპინგიტი $[Mg_5(CO_3)_4(OH) \cdot 2 \cdot 5H_2O]$ და მცირე რაოდენობით თაბაშირი $[CaSO_4 \cdot 2H_2O]$, დამატებით ორ შემთხვევაში (სინჯები: 6, 10) კი ნესკვეპონიტი $[MgCO_3 \cdot 3H_2O]$ და მცირე რაოდენობით კვლავ დიპინგიტი $[Mg_5(CO_3)_4(OH) \cdot 2 \cdot 5H_2O]$.

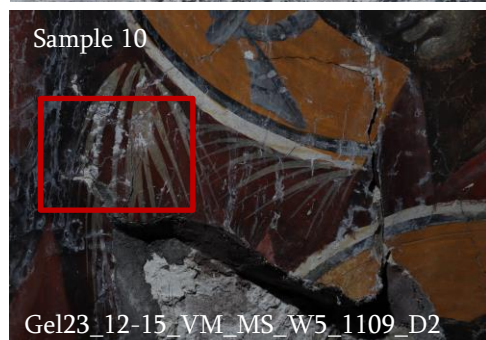
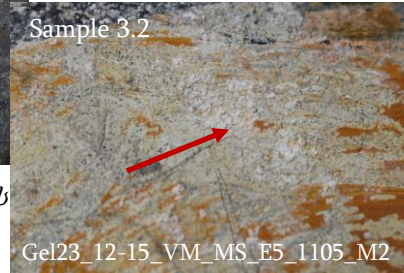
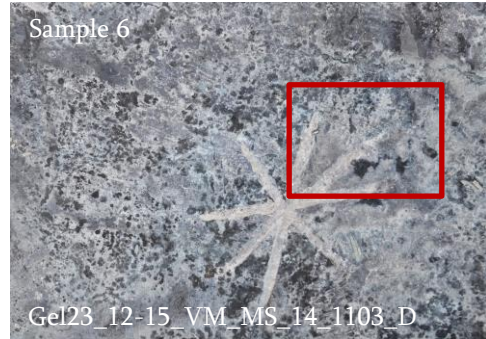
კვლევის (ლაუე 2024) დეტალური ანგარიში იხილეთ დანართი 1.:

მარჯვნივ: ღვთისმშობლის ტაძრის სამხრეთი მკლავი (W5). N10 სინჯის აღების ლოკაცია.

ქვემოთ და მარჯვნივ: ღვთისმშობლის ტაძრის ჩდრილოეთი მკლავი (E5). 3.1 და 3.2 სინჯების აღების ლოკაცია.



ქვემოთ და მარჯვნივ: ღვთისმშობლის ტაძრის დასავლეთი მკლავი, კამარა (14). N6 სინჯის აღების ლოკაცია.



4. კვლევის შედეგები

4.3 მარილის კვლევა

ანალიტიკური კვლევის (OP, XRD) შედეგად გამოვლინდა, რომ:

მსგავსად წერტილოვანი კრისტალიზაციისა თეთრი ლაქების (სინჯები: 4, 7) ძირითად მარილს წარმოადგენს მაგნიუმის კარბონატები: ჰიდრომაგნეზიტი $[Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O]$ და ნესკუჰონიტი $[MgCO_3 \cdot 3H_2O]$ ასევე მცირე რაოდენობით დიპინგიტი $[Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 5H_2O]$.

კვლევის (ლაუე 2024) დეტალური ანგარიში იხილეთ დანართი 1:.



ზემოთ და მარჯვნივ: ღვთისმშობლის ტაძრის ჩრდილოეთი მკლავი (E5). სინჯი 4-ის ალების ლოკაცია მიკროსკოპული ფოტო.



ზემოთ და მარჯვნივ: ღვთისმშობლის ტაძრის დასავლეთი მკლავი, კამარა (14). სინჯი 7-ის ალების ლოკაცია მიკროსკოპული ფოტო.

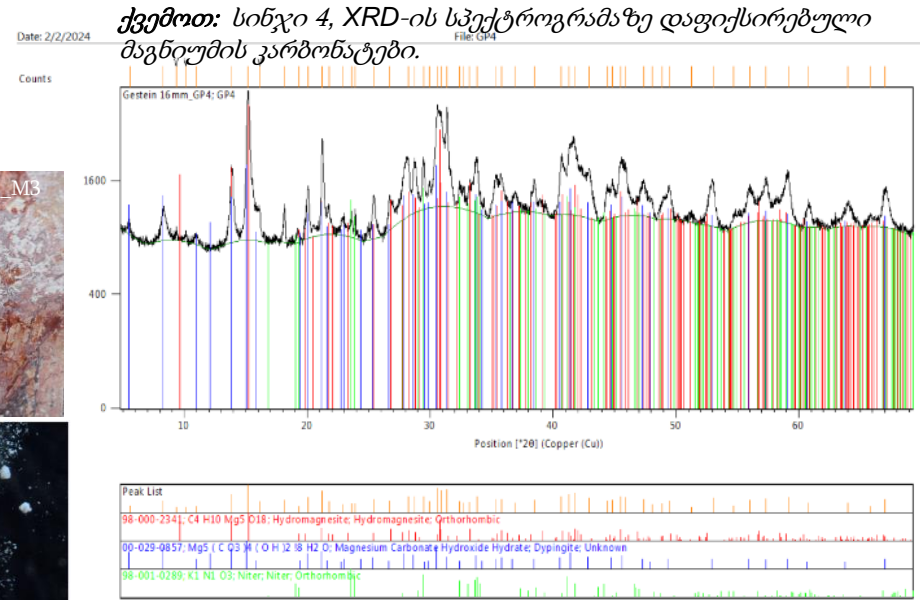


fig. 10: Sample 4, XRD spectrum

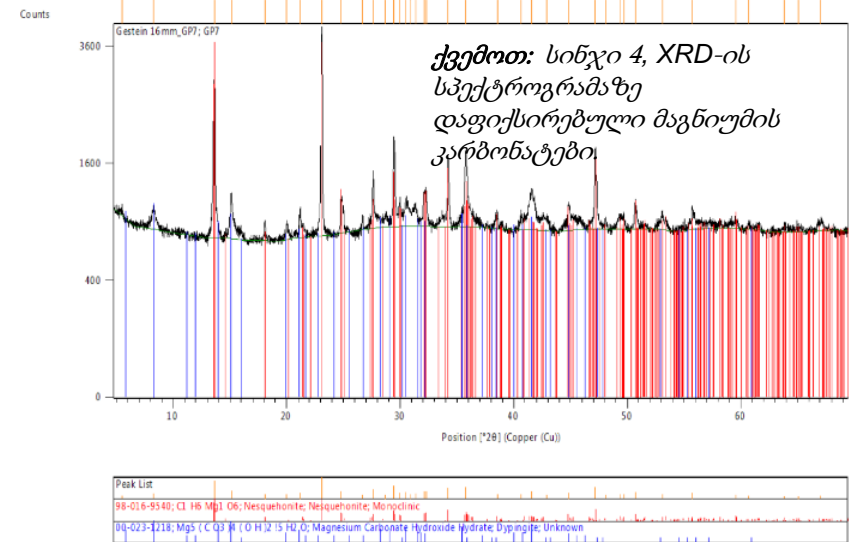


fig. 16: Sample 7, XRD spectrum

4. კვლევის შედეგები

4.3 მარილის კვლევა

ძირითადი გამოვლენილი მარილები:

- მაგნიუმის კარბონატი
- მაგნიუმის სულფატი
- კალიუმის ნიტრატი

მაგნიუმის კარბონატის სავარაუდო წყაროები:

- დოლომიტური წარმოაშობის სამშენებლო ქვა და ნალესობა

მაგნიუმის სულფატის სავარაუდო წყაროები:

- მაგნიუმი - ორიგინალ მასალაში არსებული დოლომიტური კირქვა
- სულფატი - წინა პერიოდის საკონსერვაციო მასალაები (თაბაშირის შევსებები, გადახურვაში არსებული მასალა)

კალიუმის ნიტრატი სავარაუდო წყაროები:

- კალიუმი - ორიგინალი მასალის შემცველობა (თუთიის ყვითელი, კობალტის ყვითელი, სმალტა, მწვანე მიწა)
- ნიტრატები - სახურავზე და მხატვრობის ზედაპირზე ცოცხალი ორგანიზმების აქტივობით

აღნიშნული სავარაუდო წყაროების დასადგენად მარილების, სამშენებლო მასალისა და ნალესობის დამატებითი სინჯების აღება მოხდა.

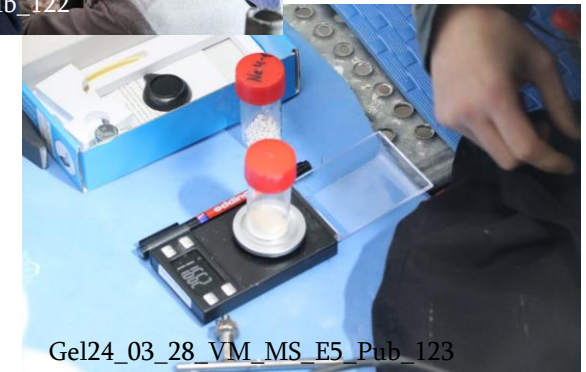
აღებულია დამატებითი 10 ზედაპირული მარილის სინჯი, ხოლო სტრატეგრაფიაში მარილებისა და ტენის განსასაზღვრად სინჯების აღება მოხდა 4 ლოკაციიდან, თითო ლოკაციიდან სიღრმეში 5-7 სინჯით, ჯამში 24 სინჯი. სინჯები მოიცავს ქვისა და ნალესობის ფენებსაც (ნალესობის სინჯებზე ინფორმაცია იხილეთ წინა გვერდებზე).

მარილის სინჯებზე განსახორციელებული ანალიტიკური კვლევები მოიცავს ოპტიკური მიკროსკოპით შესწავლას, იონის ქრომატოგრაფიასა (IC) და რენტგენოფაზურ ანალიზს (XRD).



Gel24_03_28_VM_MS_E5_Pub_122

მარცხნივ:
ბურღვითი ანალიზის საშუალებით სტრატეგრაფიიდან სინჯის აღების პროცესი, რათა განისაზღვროს მარილების შემადგენლობა.



Gel24_03_28_VM_MS_E5_Pub_123

მარჯვნივ: ბურღვითი ანალიზის საშუალებით სინჯის აწონვის პროცესი, რათა სტრუქტურაში განისაზღვროს ტენის შემცველობა.



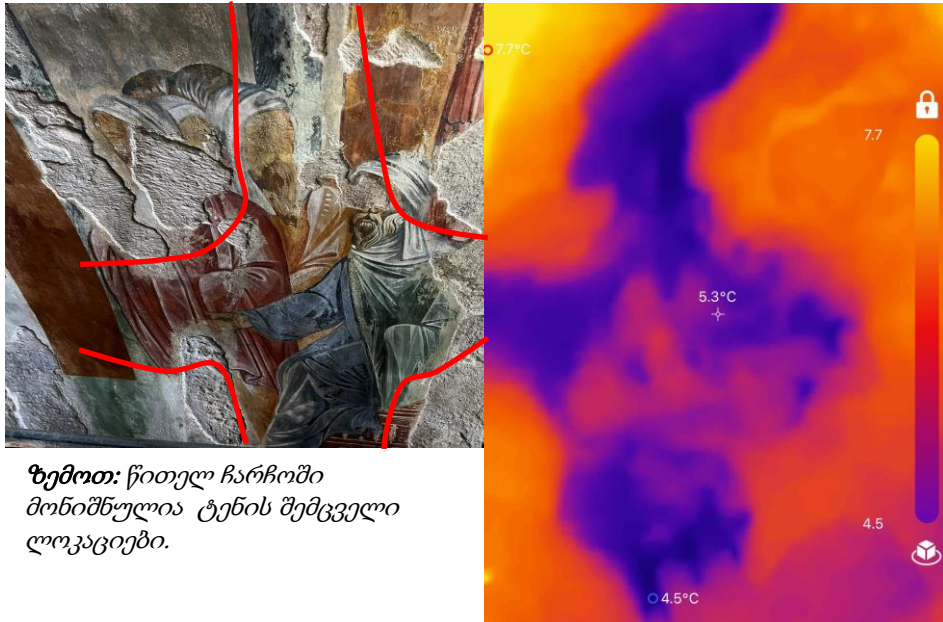
4. კვლევის შედეგები

4.4 ტენის კვლევა

არაინვაზიური კვლევის ტექნიკის გამოყენებით, ვიზუალური დაკვირვებით, ინფრაწითელი თერმოგრაფიისა და ელექტრული წინაღობის მზომის დახმარებით სველი ლოკაციები გამოვლინდა დასავლეთ მკლავის ჩრდილოეთი კედლის სცენაზე: ქრისტე კაიფასთან (N6).

აღნიშნულ ლოკაციაზე 2024 წლის 5-6 თებერვალსა და 27 მარტს დაფიქსირდა ტენის მაღალი შემცველობა.

ტენის შემცველობის კონცენტრაცია ფიქსირდება (საფუძვლის ფენის) სამშენებლო ქვების ბმების ადგილებიდან და ეტაპობრივად ვრცელდება და გაფართოვდება ნალესობის ფენაში.



ზემოთ: ელექტრული წინაღობის მზომის დახმარებით სტრუქტურაში განისაზღვროს ტენის შემცველობა. 120 ერთეულზე მაღალი მაჩვენებელი მიანიშნებს დიდი რაოდენობის ტენიანობაზე.

მარცხნივ: ინფრაწითელი თერმოგრაფიის კამერით დაფიქსირებული ტენი (ლურჯი შეფერილობის ლაქები)