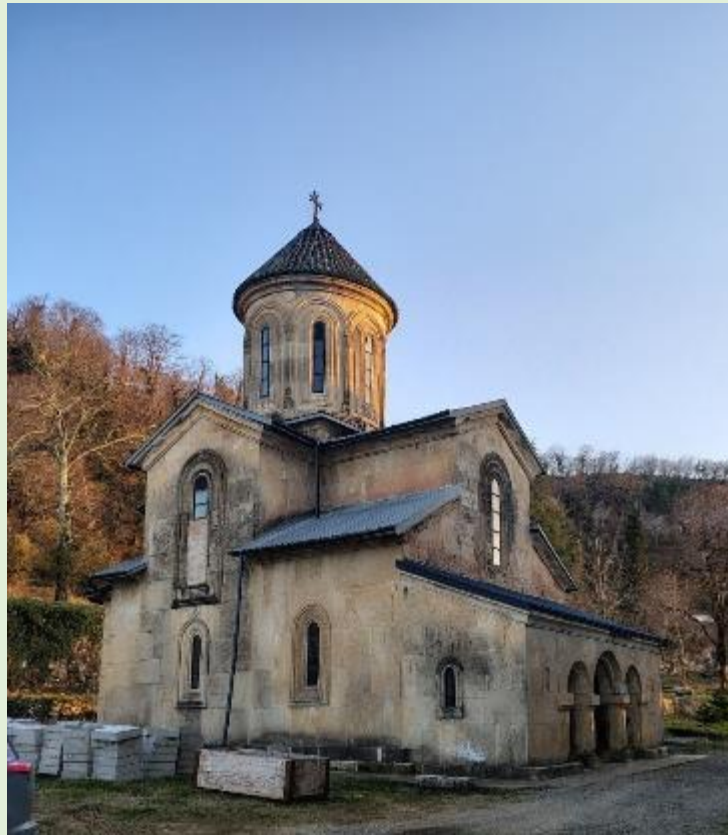


ექსთვიანი ანგარიში
კლიმატის, მიკროკლიმატისა და გარემო
დიაგნოსტიკის შესახებ
წმინდა გიორგის სახელობის ტაძარი
გელათის მონასტერი - საქართველო



საანგარიშო პერიოდი: იანვარი – ივნისი, 2026

თარიღი: 15/07/2026

ავტორები:

პროფ. დარიო კამუფო

დოქტორი ანტონიო დელა ვალე

დოქტორი რობერტა ჯიორიო (CMR LAB srl)

დამკვეთი: გელათის რეაბილიტაციის დროებითი კომიტეტი

სარჩევი

1. მიზანი	3
2. სენსორების განლაგება	3
3. ატმოსფერული ცვლადების ფიზიკური მნიშვნელობა	4
ფარდობითი ტენიანობა	4
შერევის კოეფიციენტი	4
ნამის წერტილი (°C): კონდენსაციის ტემპერატურა	5
4. მონაცემთა ანალიზი	7
ჰაერის ტემპერატურა	7
ჰაერის ტემპერატურა (°C) – All sensors	7
ჰაერის ტემპერატურა: გუმბათის ყელი (სენსორი 2)	8
ჰაერის ტემპერატურა: კონქი (სენსორი 3)	9
ჰაერის ტემპერატურა: ტაძრის ინტერიერის ქვედა ღონე (სენსორი 4)	9
ჰაერის ტემპერატურა: კარიბჭის მინაშენი (სენსორი 8)	10
გუმბათქვეშა სივრცის თერმული სტრატეფიკაცია: ზედა (2) და ქვედა ღონეებს შორის (3)	10
თერმული სტრატეფიკაცია: კონქსა (3) და ტაძრის ინტერიერის ქვედა ღონეს შორის (4)	11
ზედაპირისა და ჰაერის ტემპერატურა	12
გუმბათის კამარის ზედაპირის ტემპერატურა	12
კონქის ზედაპირის ტემპერატურა	12
შესასვლელის მიმდებარე სივრცისა და იატაკის ღონის ტემპერატურა	13
ტაძრის ფასადების ზედაპირის ტემპერატურა	13
მზის რადიაცია და კედლის ზედაპირის ტემპერატურა	14
ფარდობითი ტენიანობა	16
ფარდობითი ტენიანობა – ყველა სენსორი	16
ფარდობითი ტენიანობა გუმბათის ყელის ღონეზე (სენსორი 2)	16
ფარდობითი ტენიანობა კონქის ღონეზე (სენსორი 3)	17
ფარდობითი ტენიანობა ტაძრის ინტერიერის ქვედა ღონეზე (სენსორი 4)	17
ფარდობითი ტენიანობა კარიბჭის მინაშენში (სენსორი 8)	18
ფარდობითი ტენიანობის სტრატეფიკაცია გუმბათი: გუმბათის ყელსა (2) და კონქის ღონეს შორის (3)	18
ფარდობითი ტენიანობის სტრატეფიკაცია: კონქსა (3) და ტაძრის ინტერიერის ქვედა ღონეს შორის (4)	19
შერევის ფარდობა	19
შერევის ფარდობა — ყველა სენსორი	19
შერევის ფარდობა გუმბათის ყელის ღონეზე (სენსორი 2)	20

შერევის ფარდობა კონქის ღონეზე (სენსორი 3)	21
შერევის ფარდობა ტაძრის ინტერიერის ქვედა ღონეზე (სენსორი 4).....	21
შერევის ფარდობა კარიბჭის მინაშენში (სენსორი 8).....	22
ტენზომცველობის სტრატეგიკაცია გუმბათის ყელსა (2) და კონქის სივრცეს შორის (3).....	22
ტენზომცველობის სტრატეგიკაცია: კონქსა (3) ტაძრის ინტერიერის ქვედა ღონეს შორის (4) .	23
ნამის წერტილი და კონდენსაცია	24
გუმბათის კამარა და გუმბათის ყელი – მოქმედებს თუ არა მასზე კონდენსაცია?	24
კონქი – მოქმედებს თუ არა მასზე კონდენსაცია?.....	24
შიდა კედლები (ქვედა ღონე) – მოქმედებს თუ არა მასზე კონდენსაცია?	25
იატაკი -მოქმედებს თუ არა მასზე კონდენსაცია?	25
დასავლეთ ფასადის კედელი - მოქმედებს თუ არა მასზე კონდენსაცია?	26
სამხრეთ ფასადის კედელი – მოქმედებს თუ არა მასზე კონდენსაცია?	27
აღმოსავლეთ ფასადის კედელი – მოქმედებს თუ არა მასზე კონდენსაცია?	27
ჩრდილოეთ ფასადის კედელი – მოქმედებს თუ არა მასზე კონდენსაცია?	28
5. დასკვნები 2026 წლის პირველი ნახევრის მონიტორინგის შესახებ	29
6. შესაბამისი ევროპული სტანდარტები	30

1. მიზანი

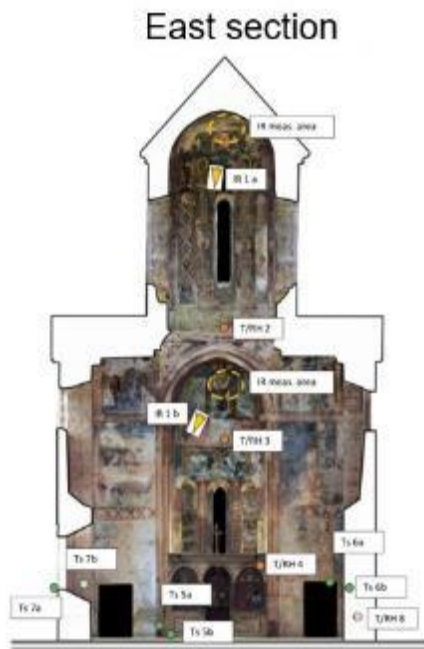
2025 წლის 21 ნოემბრის №25 (პროფ. დარიო კამუფო), №26 (დოქტ. ანტონიო დელა ვალე) და №27 (CMR Lab srl) ხელშეკრულებებით განსაზღვრული ვალდებულებების საფუძველზე, წინამდებარე ანგარიში წარმოადგენს გელათის მონასტრის წმინდა გიორგის ტაძარში დამონტაჟებული თანამედროვე მონიტორინგის სისტემის მეშვეობით 2026 წლის პირველი 6 თვის განმავლობაში (იანვრიდან ივნისის ჩათვლით) განხორციელებული მიკროკლიმატური მონიტორინგის მონაცემთა ინტერპრეტაციას.

მონიტორინგის თანამედროვე სისტემის დეტალები მოცემულია ჩვენს ანგარიშში — დანართი 7.3.6, დათარიღებული 2026 წლის 30 იანვრით.

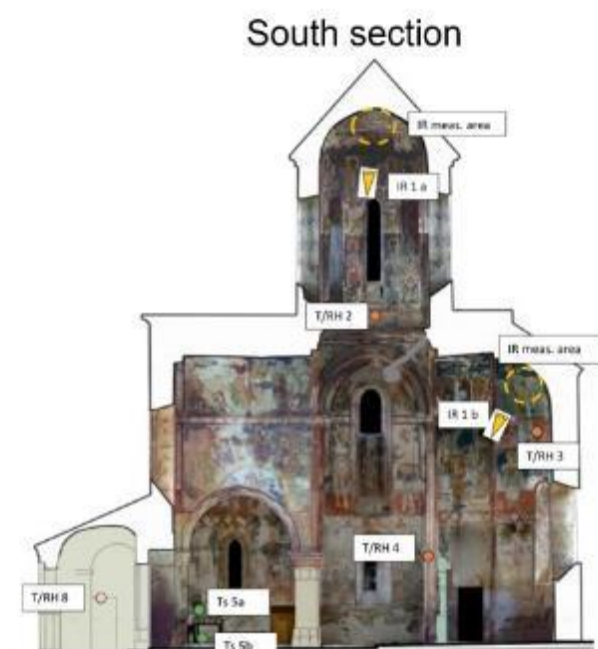
2. სენსორების განლაგება

ქვემოთ მოცემულ ნახაზზე ნაჩვენებია მონიტორინგის სენსორების განლაგება ტაძრის შიგნით, აღმოსავლეთისა და სამხრეთის ჭრილების მიხედვით. შიდა ჰაერის ტემპერატურისა და ფარდობითი ტენიანობის სენსორები განთავსებულია გუმბათის ყელში (სენსორი 2), კონქში (სენსორი 3), ტაძრის ინტერიერის ქვედა ნაწილში (სენსორი 4) და კარიბჭის მინაშენში სენსორი 8). ზედაპირის ტემპერატურის შესაბამისი ზონდები აკონტროლებენ გუმბათის კამარას (სენსორი 1a), კონქს (სენსორი 1b), შესასვლელის მიმდებარედ ქვის წყობას (სენსორი 5a) და შესასვლელის მიმდებარედ იატაკის წყობას (სენსორი 5b). ზედაპირის ტემპერატურის საზომი ოთხი დამატებითი სენსორი დამონტაჟებულია ფასადის კედლებზე, თითოეული ორიენტაციის მიხედვით: დასავლეთით (სენსორი 6a), სამხრეთით (სენსორი 6b), აღმოსავლეთით (სენსორი 7a) და ჩრდილოეთით (სენსორი 7b). გარე სენსორი უზრუნველყოფს გარემოს საორიენტაციო პირობების მონაცემებს, რომლებიც გამოიყენება შესადარებლად.

აღმოსავლეთის ჭრილი



სამხრეთის ჭრილი



3. ატმოსფერული ცვლადების ფიზიკური მნიშვნელობა

ფარდობითი ტენიანობა

ფარდობითი ტენიანობა (RH) არის პარამეტრი, რომელიც ასახავს წყლის ორთქლის გაჯერების ხარისხს (და არა ჰაერის გაჯერებას!), ანუ იმას, თუ რამდენად ახლოს ან შორს არის წყლის ორთქლი გაჯერების მდგომარეობიდან.

როდესაც გაჯერების ზღვარს გადავაჭარბებთ, H₂O-ის ზოგიერთი მოლეკულა კონდენსაციის გზით გამოიყოფა სისტემიდან.

ფარდობითი ტენიანობა (RH) არის შეფარდება წყლის ორთქლის მიმდინარე (ფაქტობრივ) e პარციალურ წნევასა და იმავე t (°C) ტემპერატურისა და წნევის (hPa) პირობებში მის გაჯერებულ ორთქლის წნევას $e_{sat}(t)$ შორის, რომელიც გამოისახება გაჯერების მნიშვნელობის პროცენტულ მაჩვენებელში (%).

$$RH = 100 \frac{e}{e_{sat}(t)}$$

RH იცვლება, როდესაც იცვლება ტენიანობის შემცველობა, ტემპერატურა, ჰაერის მასის მოცულობა ან გარემო წნევა.

ვინაიდან მნიშვნელი $e_{sat}(t)$ ექსპონენციალურია, მათემატიკურად არასწორია ისეთი არითმეტიკული გამოთვლების წარმოება, როგორიცაა დღიური ან თვიური საშუალო მაჩვენებლები. უმჯობესი და რეკომენდებულია მონაცემების წარმოდგენა სიხშირის ან პროცენტულების სახით.

შერევის კოეფიციენტი

ტენიანი ჰაერის შერევის კოეფიციენტი (MR) არის წყლის ორთქლის მასის m_{H_2O} შეფარდება მშრალი ჰაერის მასასთან $m_{N_2+O_2}$ რომელშიც გაბნეულია H₂O -ის მოლეკულები.

ეს შეფარდება წარმოადგენს ამ ორი აირადი ნივთიერების, კერძოდ H₂O -ისა და (N₂ + O₂) -ის წონით ნარევს, ისევე როგორც მათი მოლეკულების რაოდენობის თანაფარდობას, ანუ n_{H_2O} და $n_{N_2+O_2}$

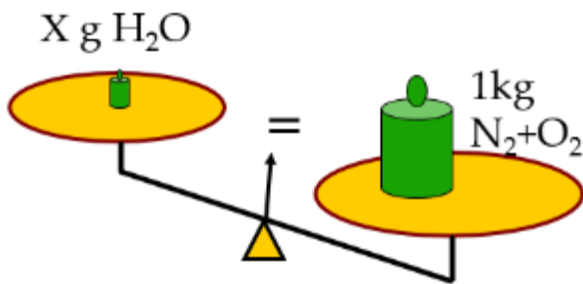
$$MR = \frac{m_{H_2O}}{m_a} = 0.622 \frac{n_{H_2O}}{n_{N_2+O_2}}$$

შერევის კოეფიციენტი (MR) შეიძლება გამოიანგარიშდეს ტემპერატურის (t) და ფარდობითი ტენიანობის (RH) მნიშვნელობებიდან, თუ ცნობილია ბარომეტრული წნევა p (hPa), შემდეგი ფორმულის გამოყენებით:

$$MR = 38.015 \times \frac{10^{\frac{7.65t}{243.12+t}} \times RH}{p - \left(0.06112 \times 10^{\frac{7.65t}{243.12+t}} \times RH \right)} \text{ (gkg}^{-1}\text{)}$$

MR არის ნებისმიერი ჰაერის მასის უნიკალური მახასიათებელი ნიშანი (ეგრეთ წოდებული „თითის ანაბეჭდი“), ვინაიდან ის უცვლელია ჰაერის ტემპერატურის, წნევისა და მოცულობის ცვლილების მიმართ. მისი მნიშვნელობა შეიძლება შეიცვალოს მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ მოხდება წყლის მოლეკულების დამატება (აორთქლება, ტრანსპირაცია) ან გამოკლება

(სორბცია, კონდენსაცია), ან თუ ადგილი ექნება მის შერევას უფრო მშრალ ან ტენიან ჰაერთან ეს შესაძლებლობას გვაძლევს ამოვიცნოთ ტენის მიმოცვლა, მისი წყაროები და შთანთქმის კერები.



ზემოაღნიშნული განმარტებებიდან გამომდინარე, შერევის კოეფიციენტი შეიძლება განვიხილოთ, როგორც პარამეტრი, რომელიც გვიჩვენებს H_2O -ის მოლეკულების N რაოდენობას, რომელიც შერეულია მშრალი ჰაერის 1000 მოლეკულასთან, ე.ი. $MR = k N / 1000$ (სადაც k არის პროპორციულობის კოეფიციენტი).

განვიხილოთ შენობა და შევადაროთ MR -ის მნიშვნელობები შიგნით და გარეთ, ე.ი., $MR_{in} = k N_{in} / 1000$ და $MR_{out} = k N_{out} / 1000$.

სამი შემთხვევაა შესაძლებელი:

1. $MR_{in} = MR_{out}$, ანუ $N_{in} = N_{out}$. როდესაც მოლეკულების რაოდენობა N ერთნაირია შენობის შიგნით და გარეთ, არც კონდენსაცია და არც აორთქლება არ ხდება.
2. $MR_{in} < MR_{out}$, ანუ $N_{in} = N_{out} - C$. როდესაც შენობის შიგნით MR (ტენშემცველობა) უფრო დაბალია, ვიდრე გარეთ, ეს ნიშნავს, რომ H_2O მოლეკულების გარკვეული C რაოდენობა გარე ჰაერიდან მოცილებულ იქნა შიდა კედლებზე ან იატაკზე სორბციის ან კონდენსაციის შედეგად.
3. $MR_{in} > MR_{out}$, ანუ $N_{in} = N_{out} + E$. როდესაც შენობის შიგნით MR (ტენშემცველობა) უფრო მაღალია, ვიდრე გარეთ, ეს ნიშნავს, რომ H_2O მოლეკულების გარკვეული E რაოდენობა დაემატა გარე ჰაერს კედლებიდან აორთქლების ან ადამიანების მიერ ტენის გამოყოფის (ტრანსპირაციის) შედეგად.

ნამის წერტილი($^{\circ}C$): კონდენსაციის ტემპერატურა

ნამის წერტილის ტემპერატურა (DP) არის ტემპერატურა, რომლის დროსაც ტენიანი ჰაერის მასა აღწევს გაჯერებას (მუდმივი ტემპერატურისა და წნევის პირობებში).

მარტივად რომ ვთქვათ, DP არის ნებისმიერი ჰაერის მასის დამახასიათებელი ტემპერატურა: კონდენსაციის ტემპერატურული ზღვარი. განვიხილოთ ზედაპირი, რომლის ტემპერატურაა TS

როდესაც $TS > DP$ კონდენსაცია შეუძლებელია;

როდესაც $TS = DP$ წონასწორობის ზღვარია, სადაც აორთქლება = კონდენსაციას;

როდესაც $TS < DP$ ზედაპირზე წარმოიქმნება კონდენსატი (ნამი).

ზედაპირზე კონდენსაცია შეიძლება მოხდეს მხოლოდ მაშინ, როდესაც მისი ტემპერატურა TS ნამის წერტილზე DP დაბლა ეცემა.

შენიშვნა: უნდა აღინიშნოს, რომ კედლის გამომარილებამ (ეფლორესცენციამ) ან ხსნადი მარილებით დაბინძურებამ, ფარდობითი ტენიანობის RH გარკვეულ კრიტიკულ დონეებზე, შესაძლოა გამოიწვიოს წყლის შთანთქმა ნესტიანობისგან გათხევადების

(დელიკვსცენციის) გზით. ეს არის ფიზიკური ქიმიის კიდევ ერთი მექანიზმი, რომელიც არ უნდა აგვერიოს კონდენსაციაში.

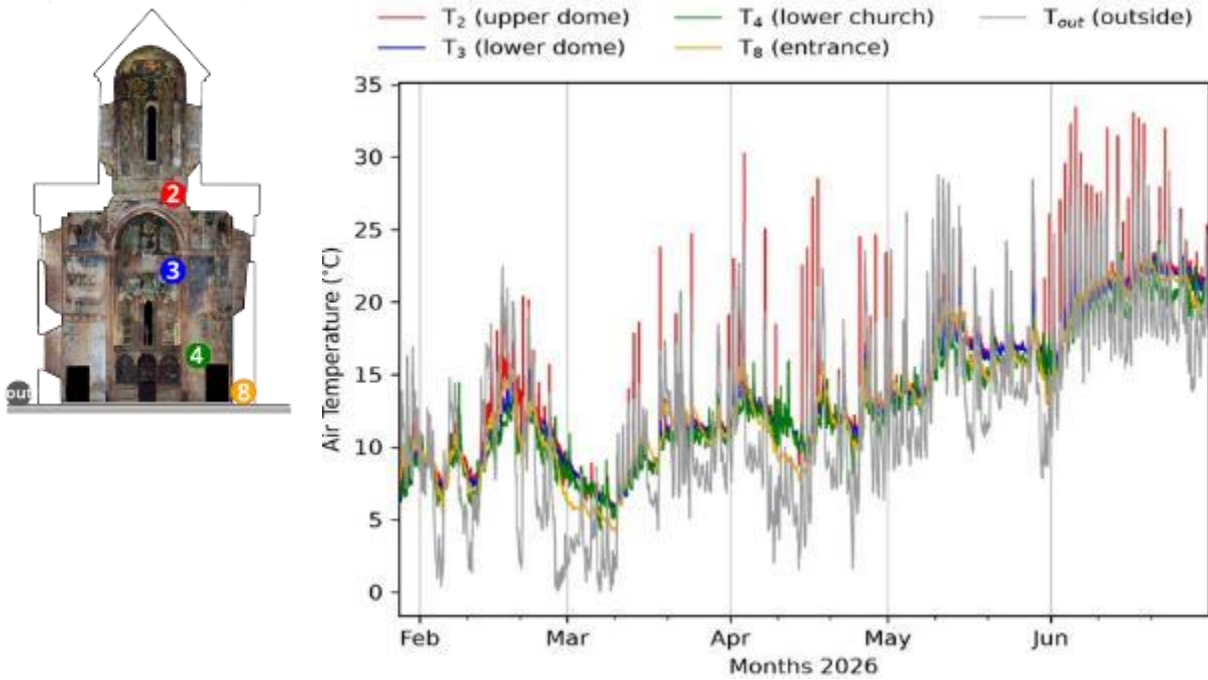
ნამის წერტილის ტემპერატურა (DP) გამოითვლება ტემპერატურის (t) და ფარდობითი ტენიანობის (RH) მნიშვნელობებიდან შემდეგი ფორმულის გამოყენებით

$$DP = \frac{243.12 \times \ln \left(10^{\frac{7.65t}{243.12+t}} \times \frac{RH}{100} \right)}{17.62 - \ln \left(10^{\frac{7.65t}{243.12+t}} \times \frac{RH}{100} \right)} (^{\circ}C)$$

4. მონაცემთა ანალიზი

ჰაერის ტემპერატურა

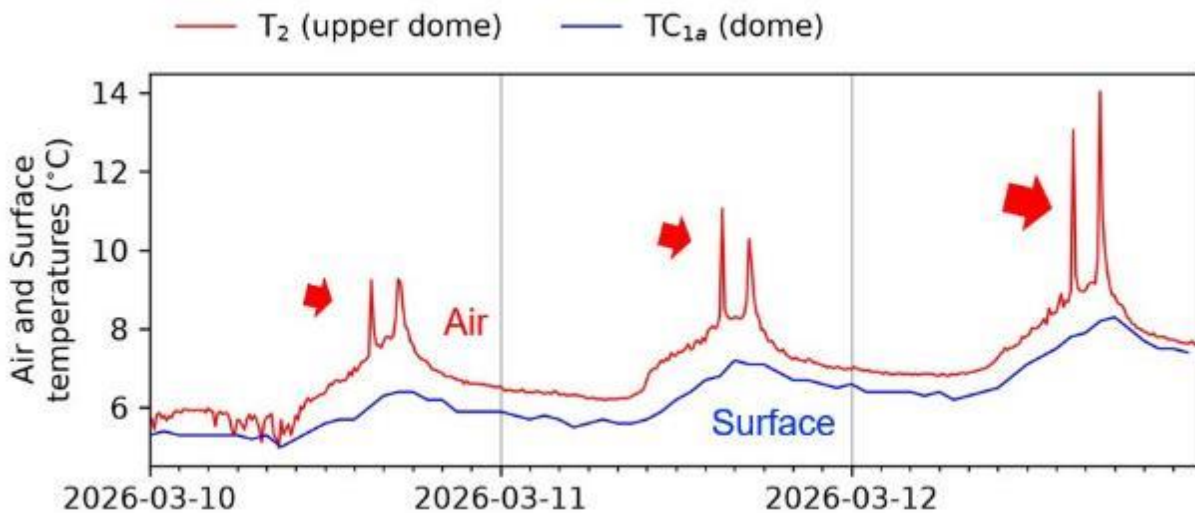
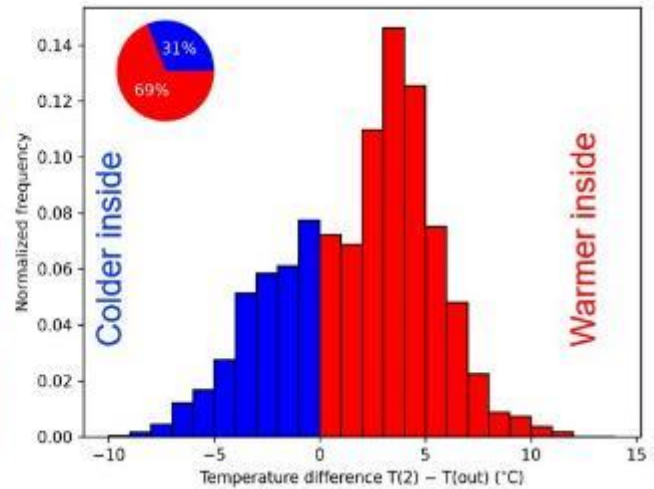
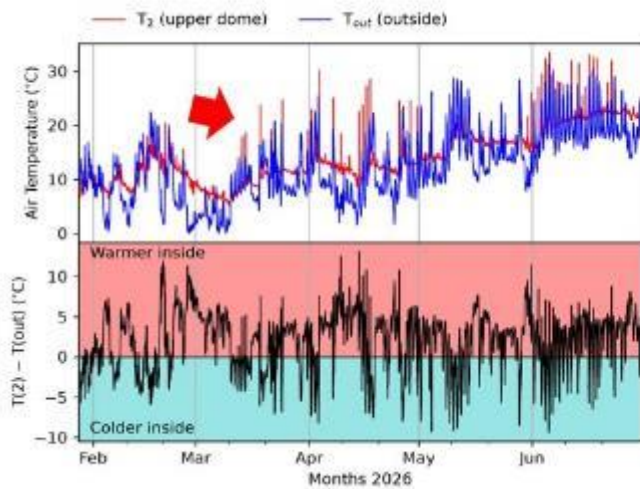
ჰაერის ტემპერატურა (°C) – ყველა სენსორი



საშუალოდ, ჰაერის ტემპერატურა შიგნით ოდნავ უფრო მაღალია კედლებზე მზის რადიაციის ზემოქმედების გამო.

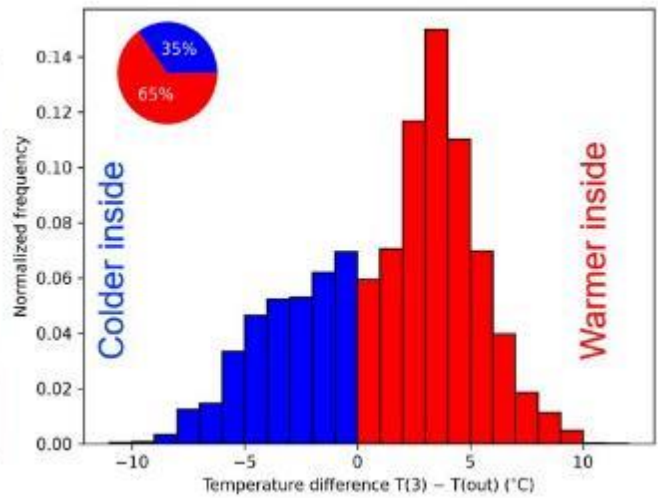
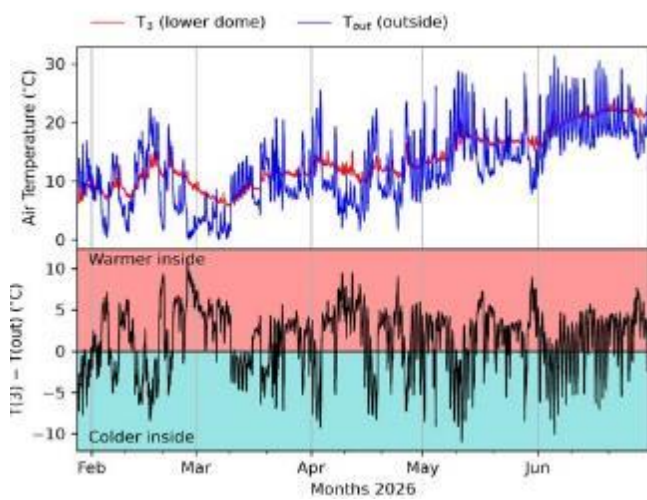
შემდეგ წარმოდგენილ გრაფიკებზე ზედა ნაწილი ერთმანეთს ადარებს შიდა ტემპერატურის თითოეულ მაჩვენებელსა და გარე მონაცემთა მწკრივს (სერიას), ხოლო ქვედა ნაწილი და ჰისტოგრამა ასახავს ტემპერატურულ სხვაობასა და მის სიხშირეს

ჰაერის ტემპერატურა: გუმბათის ყელის ღონეზე (სენსორი 2)

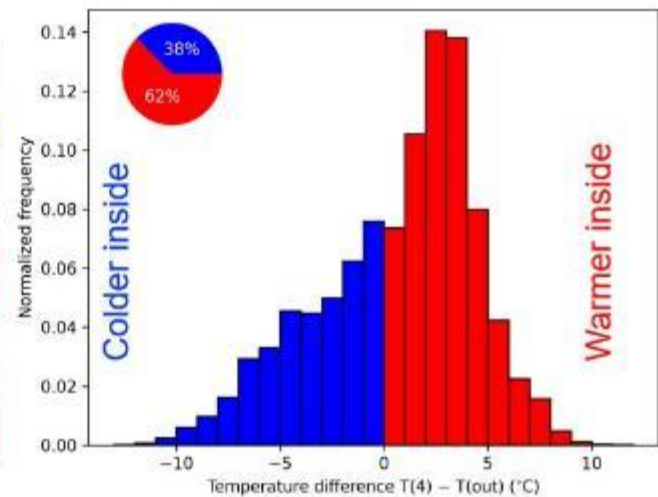
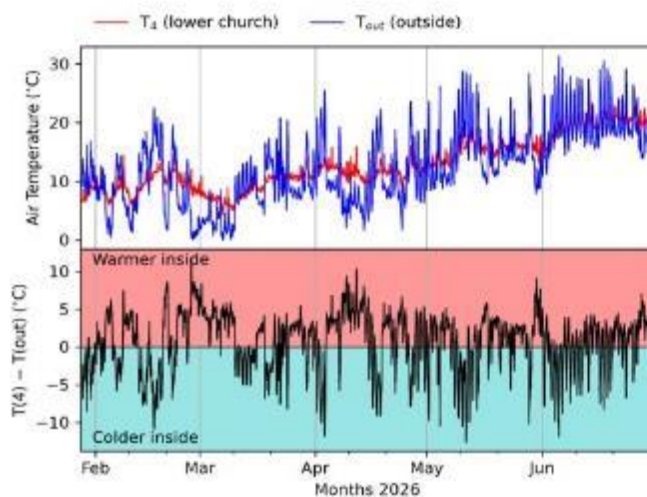


მარტსა და აპრილში გუმბათის ყელის ღონეზე (T2) შეინიშნება ტემპერატურის გარკვეული პიკები (დაახლოებით 10°C), რაც გარე ტემპერატურაზე მაღალია. ისინი განსაკუთრებით ინტენსიურია მარტსა და აპრილში. გუმბათის ყელის ღონეზე შიდა ჰაერისა და ზედაპირის ტემპერატურის დეტალური ანალიზი აჩვენებს, რომ ჰაერის ტემპერატურის პიკები (T2) რეგულარულად მეორდება, განსაკუთრებული ინტენსივობით მარტში. ჩვენ უნდა გამოვრიცხოთ სარკმელებიდან შემავალი მზის რადიაცია, რადგან ჰაერი გამჭვირვალეა მზის რადიაციის მიმართ და, ამის საპირისპიროდ, კედელი უნდა გადახურებულიყო. თუმცა, ზედაპირის ტემპერატურა უცვლელი რჩება, პიკებს კი მხოლოდ ჰაერის ტემპერატურა აჩვენებს. ეს მიუთითებს იმაზე, რომ: (i) პიკები დაკავშირებულია შიგნით ადამიანის რაიმე სახის აქტივობასთან; ან (ii) მზის რადიაციის გარკვეული ნაწილი აირეკლება და ხვდება სენსორს. ეს უკანასკნელი უფრო სავარაუდოა.

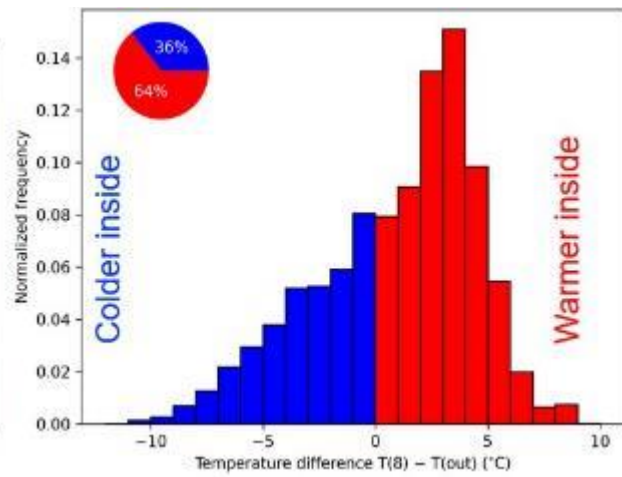
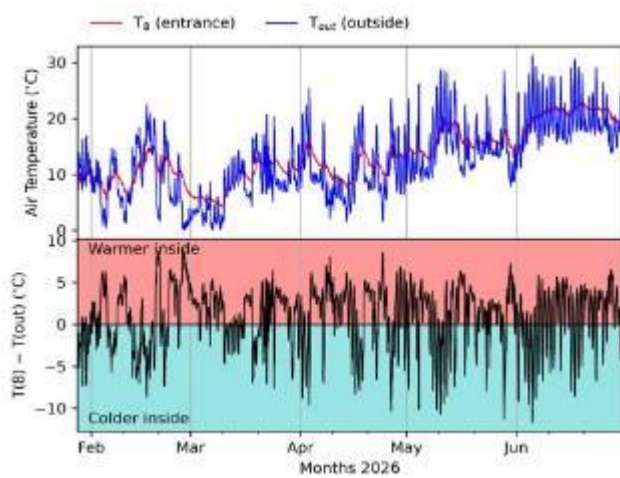
ჰაერის ტემპერატურა: კონქის ღონეზე (სენსორი 3)



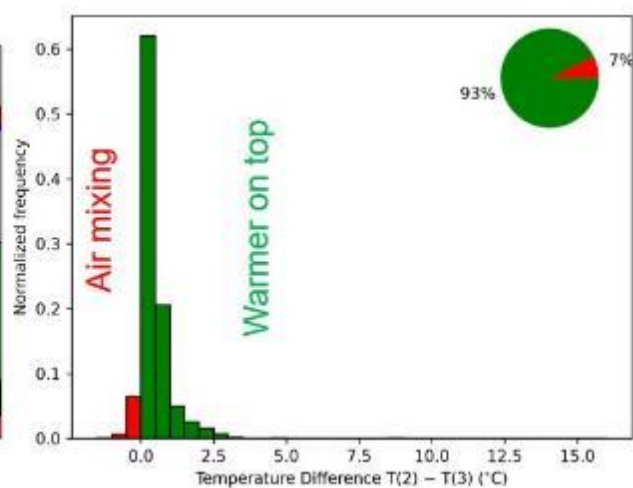
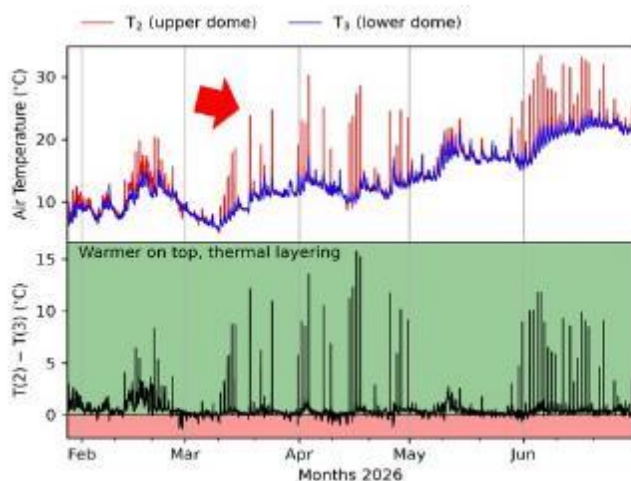
ჰაერის ტემპერატურა: ტაძრის ინტერიერის ქვედა ღონეზე (სენსორი 4)



ჰაერის ტემპერატურა: კარიბჭის მინაშენში (სენსორი 8)

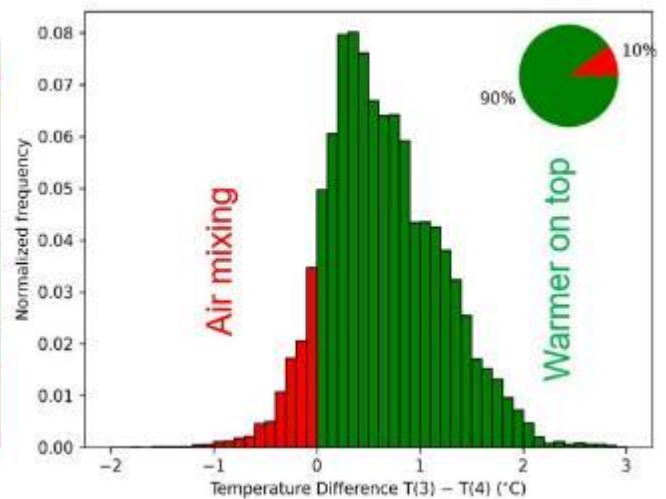
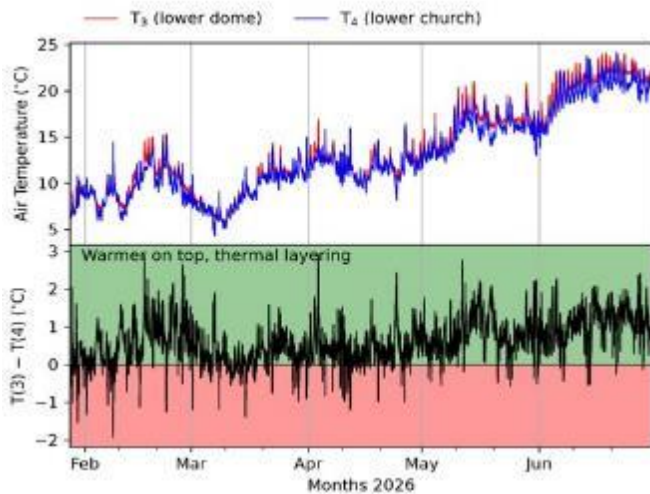


თერმული სტრატეფიკაცია გუმბათქვეშა სივრცე: გუმბათის ყელსა (2) და კონქის ღონეს შორის (3)



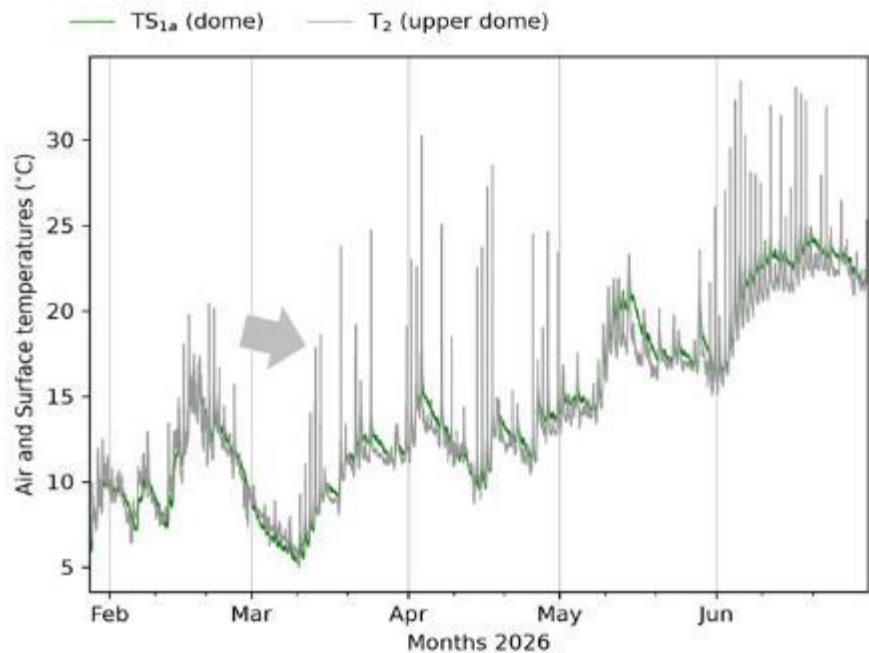
T2-ში დაფიქსირებული პიკების შედეგად, T2-T3 თერმულ სტრატეფიკაციაში წარმოიქმნება 10-15°C-იანი პიკები, რაც ამ პირობებში ძალიან ძლიერდება. შიდა არამდგრადობა და ჰაერის ვერტიკალური შერევა ძალიან იშვიათი და მეტად სუსტია.

თერმული სტრატეფიკაცია: კონქსა (3) და ტაძრის ინტერიერის ქვედა ღონეს შორის (4)



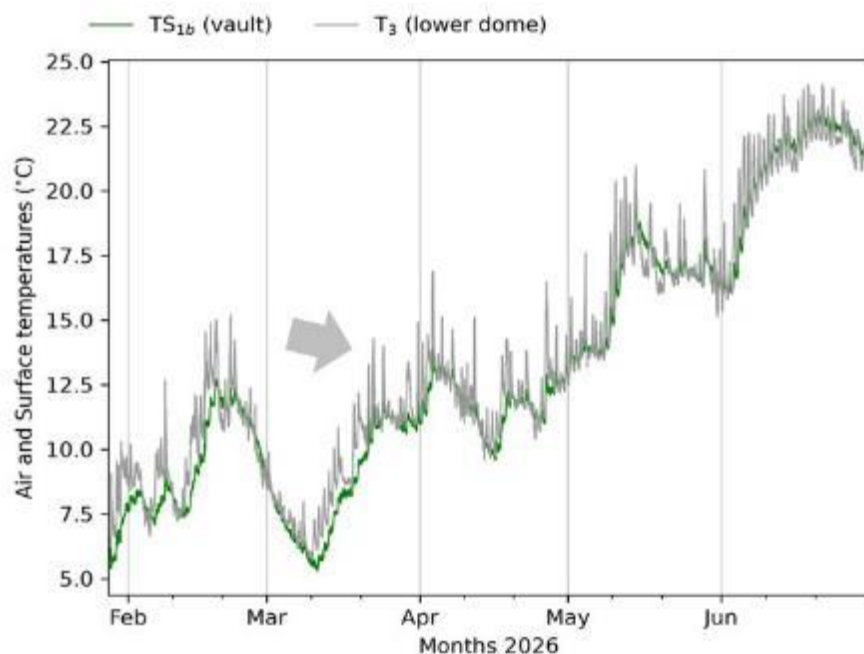
ზედაპირები და ჰაერის ტემპერატურა

გუმბათის კამარის ტემპერატურა



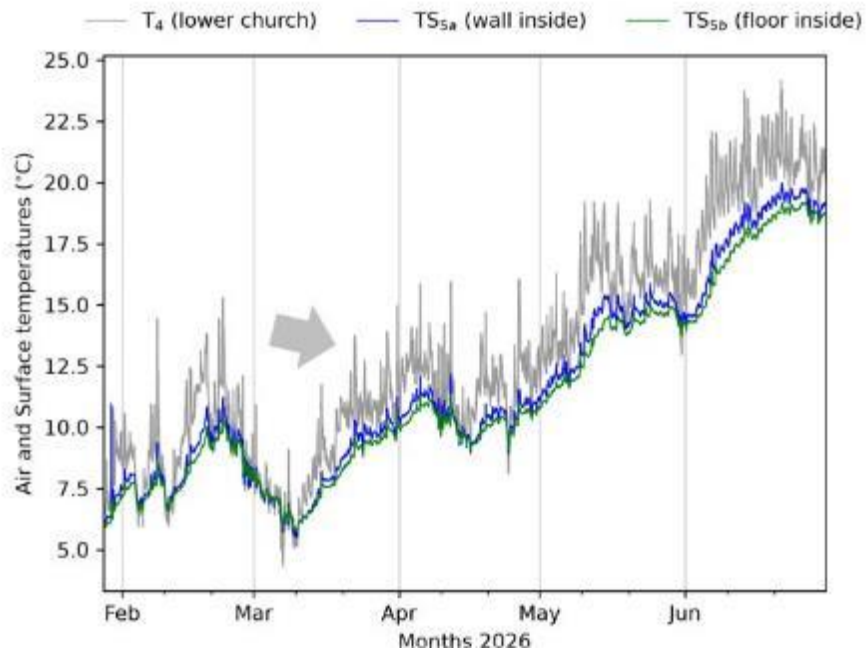
გუმბათის კამარის ზედაპირის ტემპერატურის გრაფიკი აჩვენებს, რომ ზოგადად კამარის ტემპერატურა ახლოს არის ჰაერის ტემპერატურასთან, თუმცა ჰაერის ტემპერატურის (T_2) ზემოაღნიშნული მკვეთრი პიკები (10-15 °C) მხოლოდ ჰაერით შემოიფარგლება და გუმბათის ტემპერატურაზე გავლენას არ ახდენს.

კონქის ზედაპირის ტემპერატურა



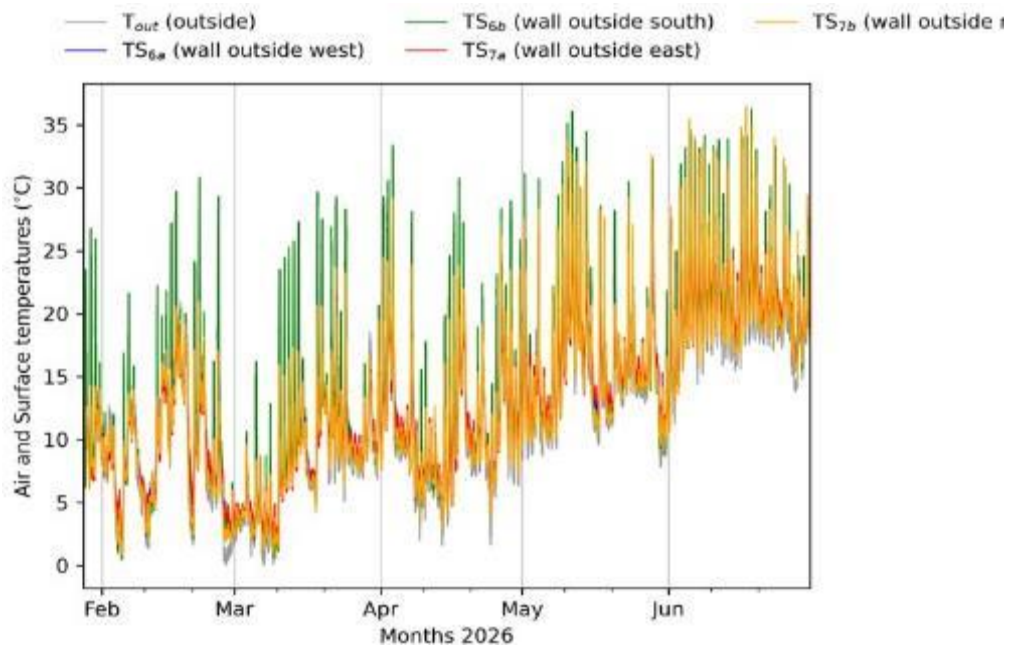
სენსორი T_3 -ც აჩვენებს გარკვეულ პიკებს, თუმცა ისინი უფრო მცირე, რეგულარული და ფართოა (ხანგრძლივია დროში) და, როგორც ჩანს, გარე მეტეოროლოგიურ ფაქტორებთან არის დაკავშირებული.

შესასვლელის მიმდებარე სივრცისა და იატაკის ღონის ტემპერატურა



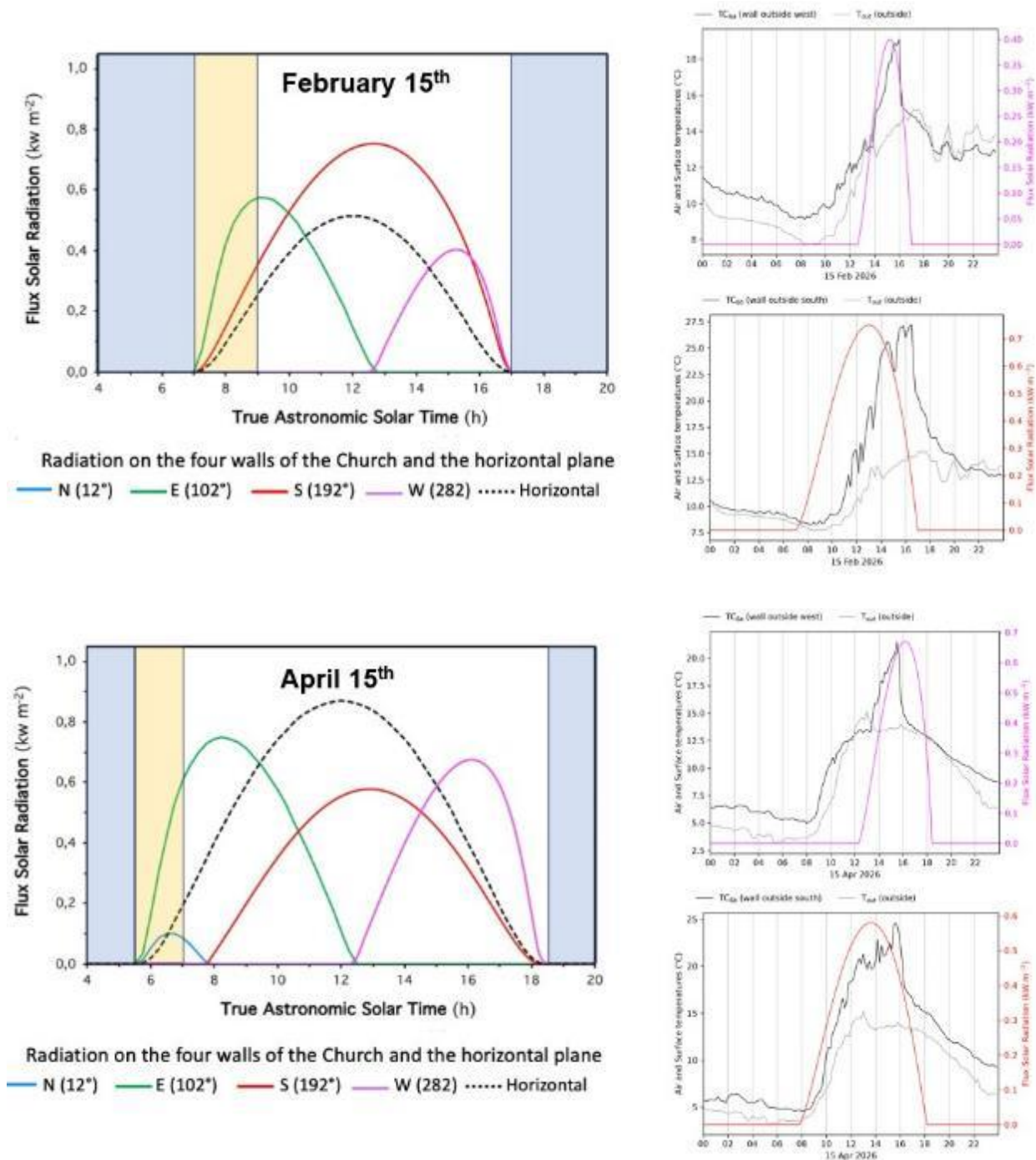
ტაძრის ინტერიერის ქვედა ნაწილში განთავსებული სენსორი T4 აჩვენებს დიდ ცვალებადობას, რაც, სავარაუდოდ, გარე ჰაერის ინფილტრაციასთან არის დაკავშირებული.

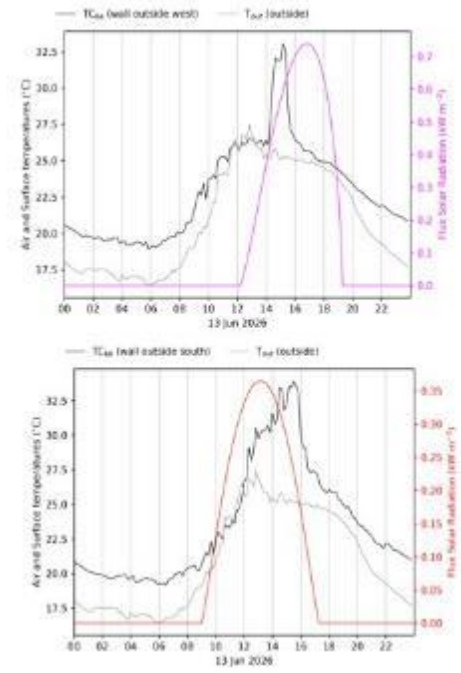
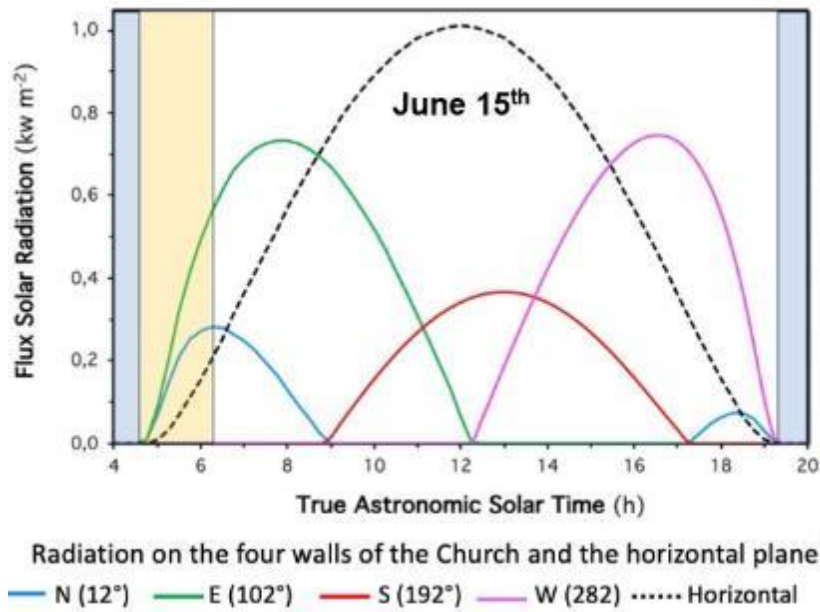
ტაძრის ფასადების ზედაპირის ტემპერატურა



მზის რადიაცია და კედლის ზედაპირის ტემპერატურა

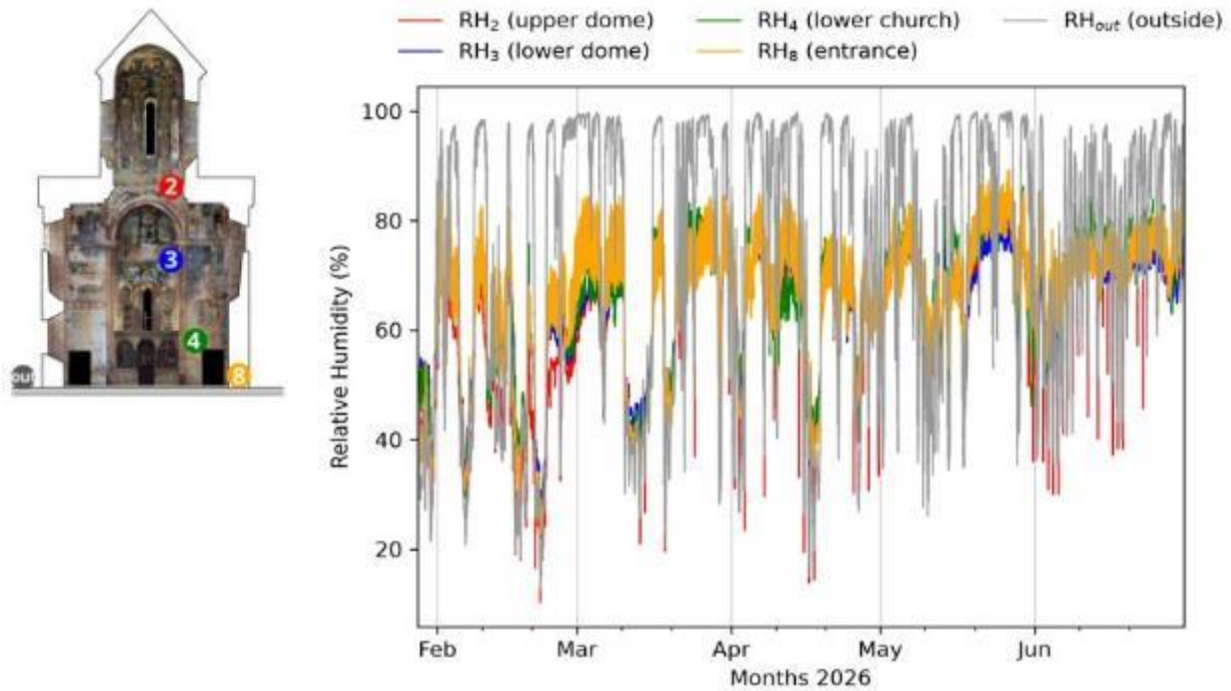
მაგალითის სახით წარმოდგენილია კედლის ტემპერატურისა და სამხრეთ და დასავლეთ ფასადის კედლებზე მზის რადიაციის გაანგარიშების დეტალური გრაფიკი უძრუბლო დღეებში, 15 თებერვლის, 15 აპრილისა და 15 ივნისის პერიოდში. ჩრდილოეთისა და აღმოსავლეთ ფასადის კედლები გამოტოვებულია ზედმეტად მცირე რადიაციის გამო (აღმოსავლეთ ფასადი მოქცეულია აღმოსავლეთ ფერდობის ჩრდილში). ეფექტი თვალსაჩინოა. გთხოვთ გაითვალისწინოთ, რომ მზის გრაფიკი ეფუძნება „ჭეშმარიტ“ მზის დროს, ხოლო კედლის ტემპერატურა — საათის დროს; მათ შორის სხვაობა შეადგენს დაახლოებით 30 წუთს, რაც უწყვეტად იცვლება კალენდარული წლის განმავლობაში დროის განტოლების (Equation of Time) შესაბამისად. ეს ხსნის, თუ რატომ არის კედლის გახურება ზოგჯერ რადიაციის თანადროული, ხოლო ზოგჯერ — ოდნავ ადრეული ან გვიანი.





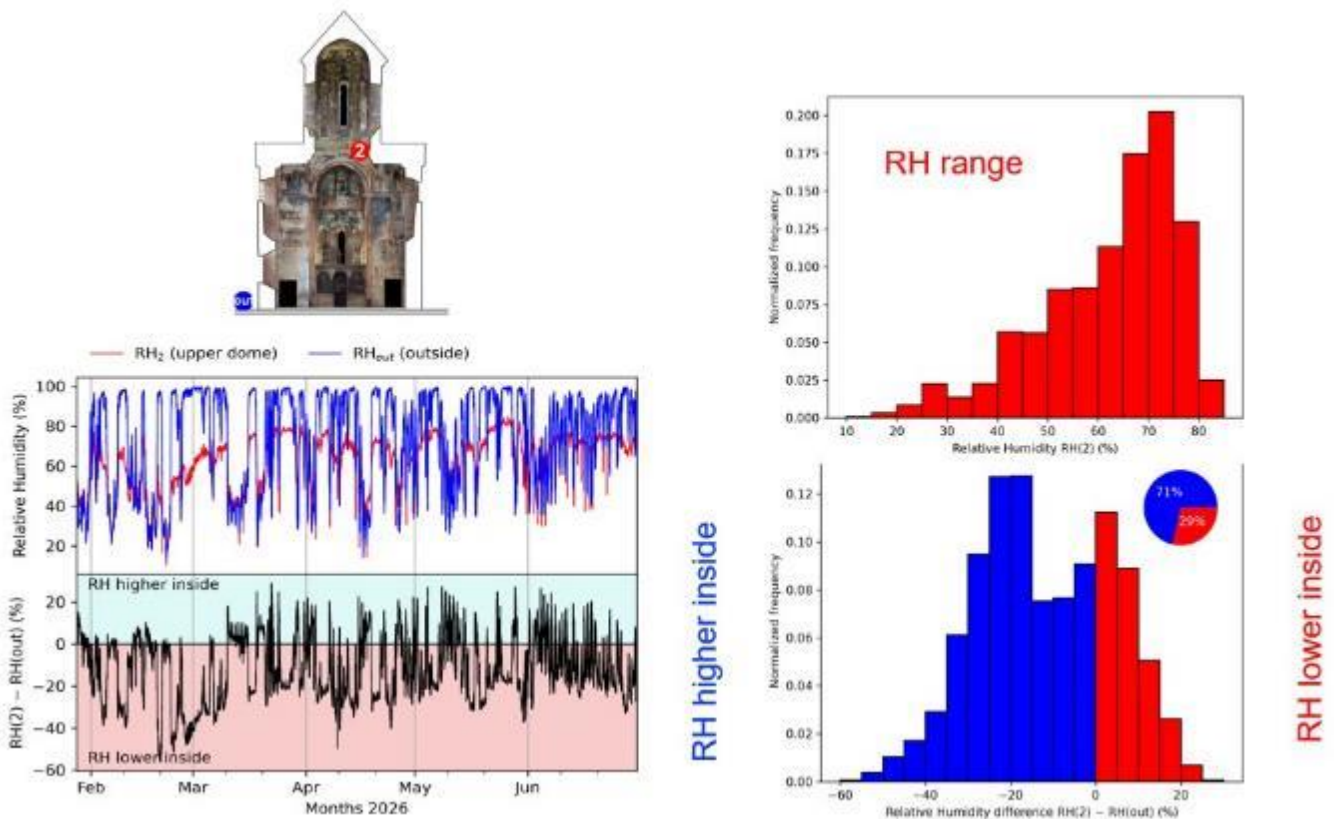
ფარდობითი ტენიანობა

ფარდობითი ტენიანობა – ყველა სენსორი

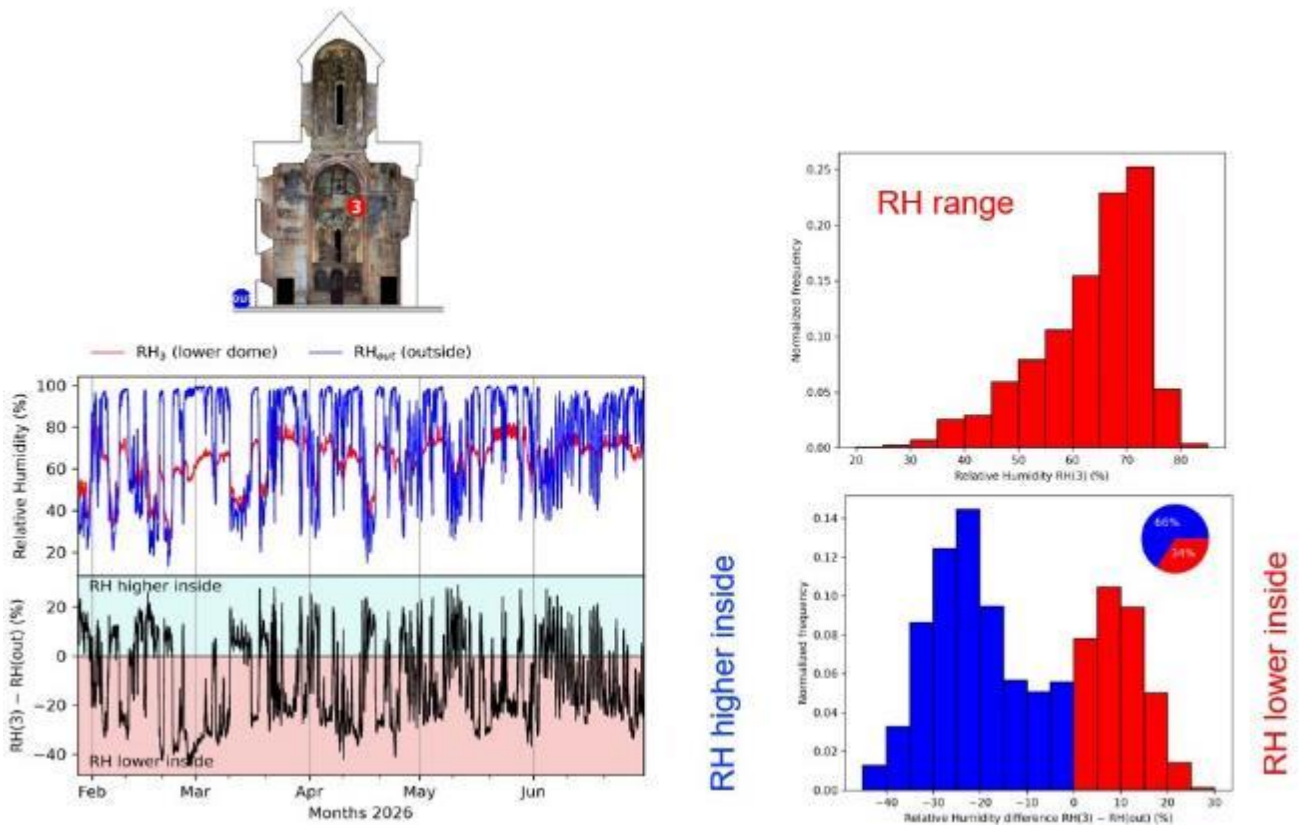


შიდა ოღნავ უფრო მაღალი ტემპერატურის მიუხედავად, შიდა ფარდობითი ტენიანობა (RH) უმეტესწილად მაღალია გარე მაჩვენებელზე, რაც აიხსნება შენობის შიგნით ტენის ოღნავ მეტი შემცველობით (ტენიანობის შერევის კოეფიციენტით).

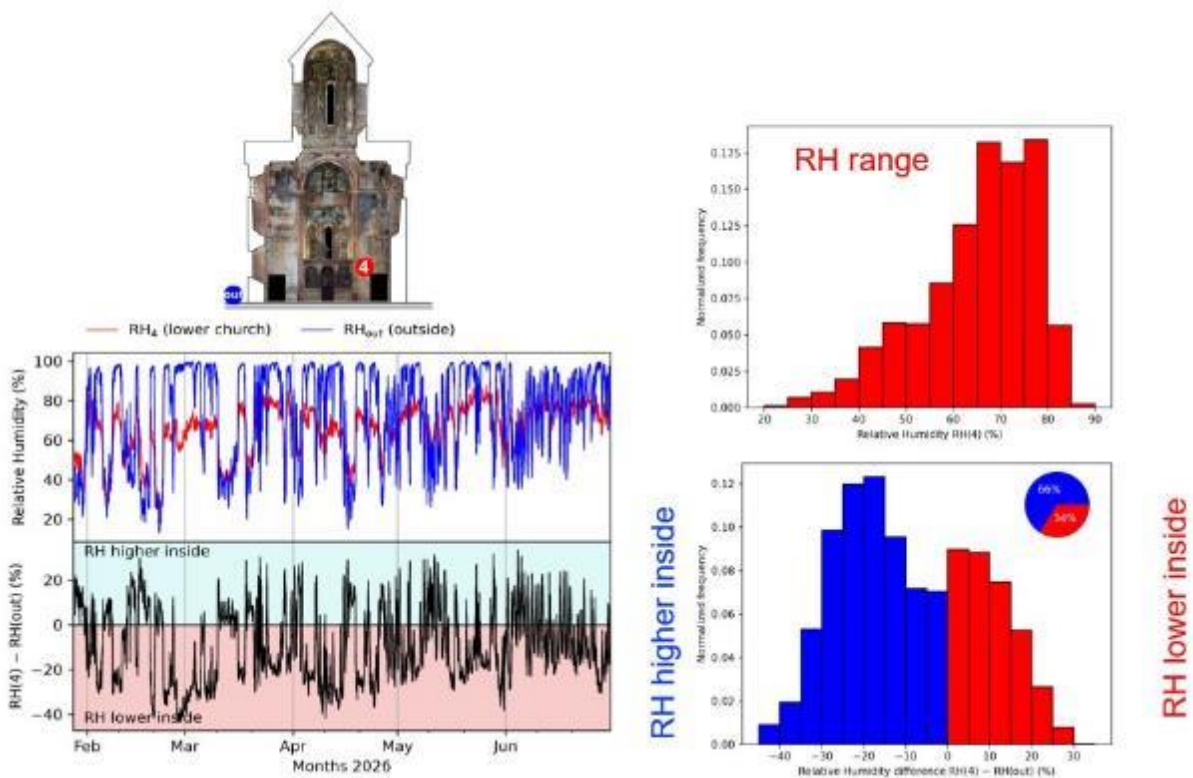
ფარდობითი ტენიანობა გუმბათის ყელის ღონეზე (სენსორი 2)



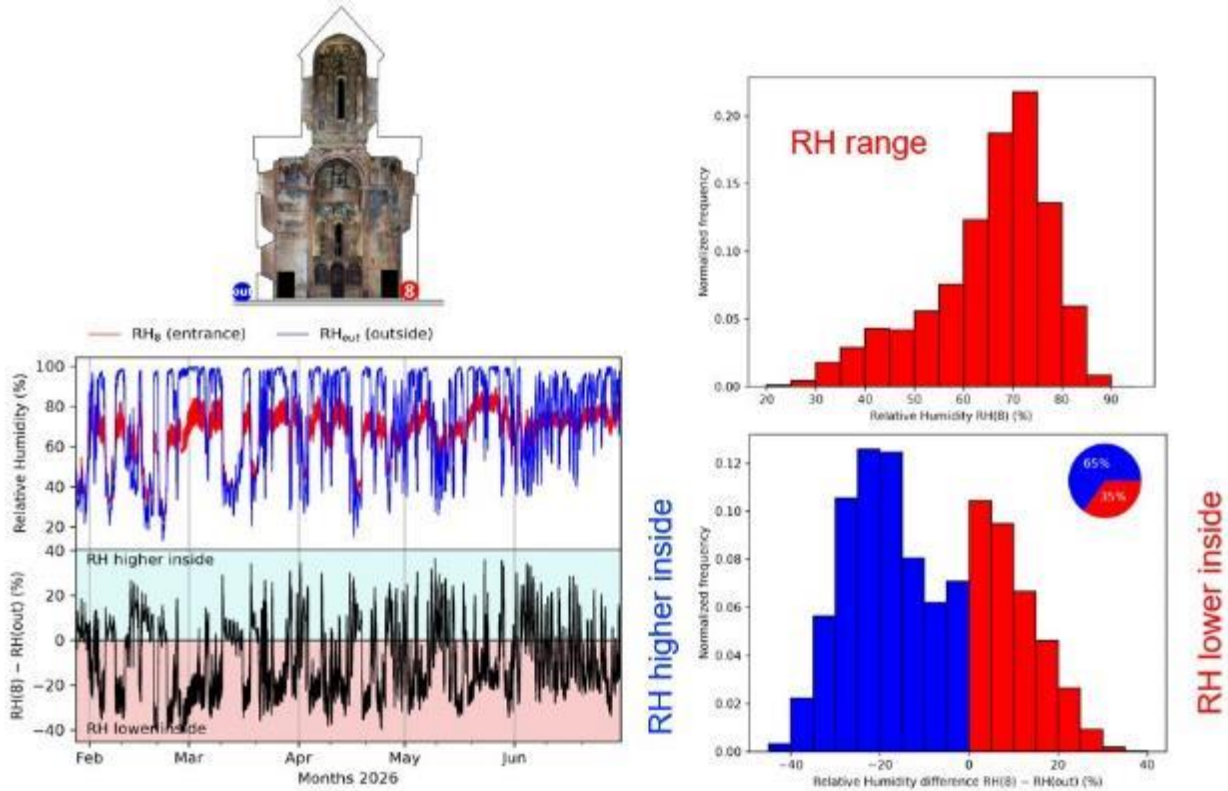
ფარდობითი ტენიანობა კონქის ღონეზე (სენსორი 3)



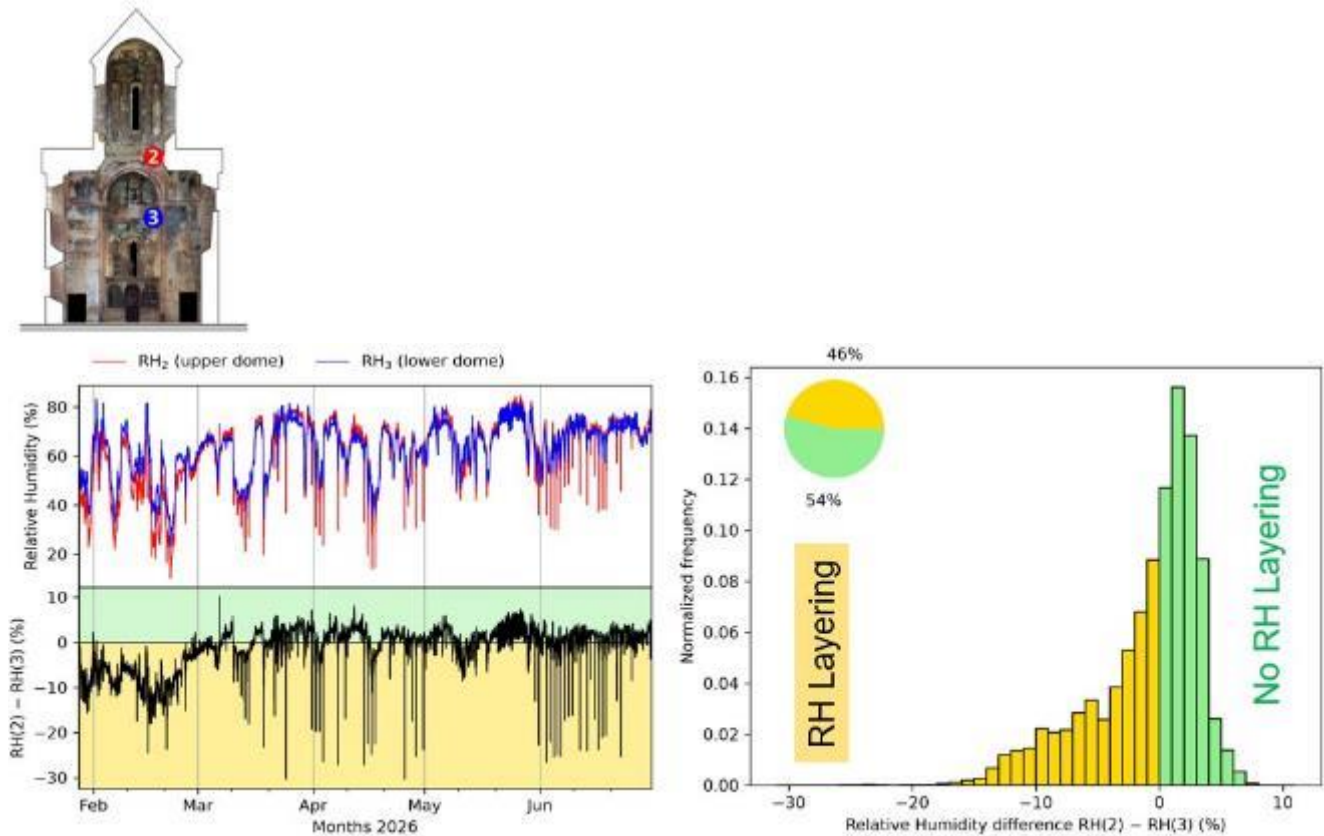
ფარდობითი ტენიანობა ტაძრის ინტერიერის ქვედა ღონეზე (სენსორი 4)



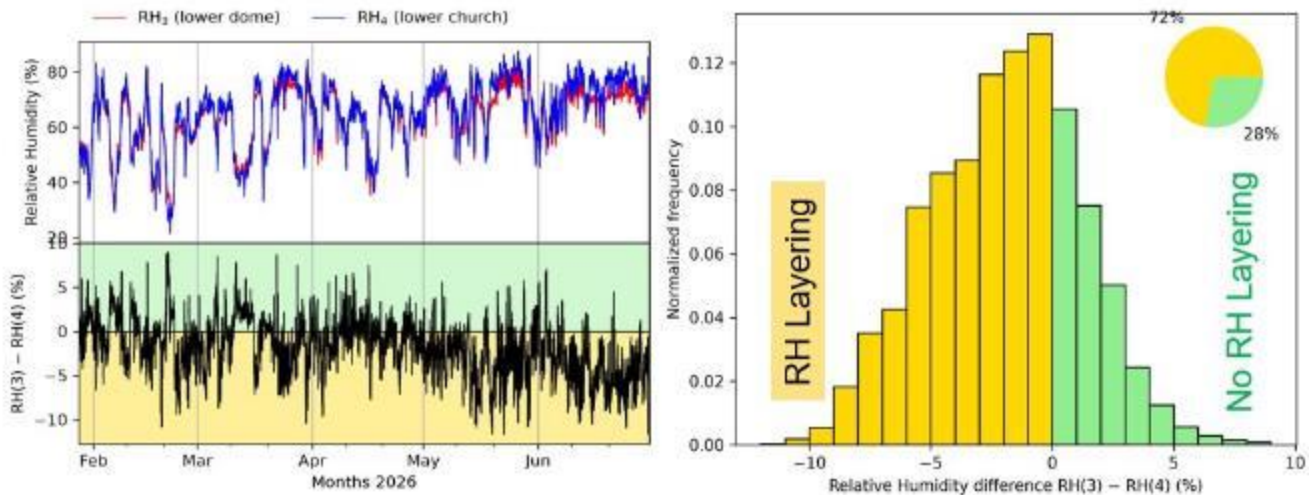
ფარდობითი ტენიანობა კარიბჭის მინაშენში (სენსორი 8)



ფარდობითი ტენიანობის სტრატეფიკაცია გუმბათქვეშა სივრცე: გუმბათის ყელსა (2) და კონქის ღონეს შორის (3)



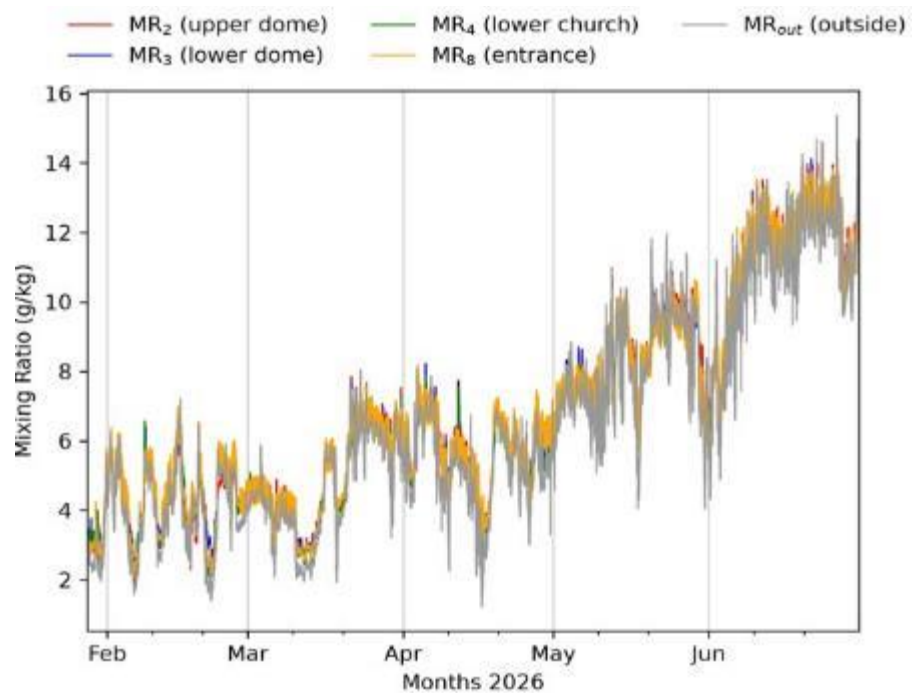
ფარდობითი ტენიანობის სტრატეფიკაცია კონქსა (3) და ტაძრის ინტერიერის ქვედა დონეს შორის (4)



შიდა თერმული სტრატეფიკაცია, ვერტიკალზე ტენიანობის შერევის კოეფიციენტის (MR) თანაბარ განაწილებასთან ერთად, განაპირობებს შიდა ფარდობითი ტენიანობის (RH) სტრატეფიკაციის წარმოქმნას.

შერევის ფარდობა

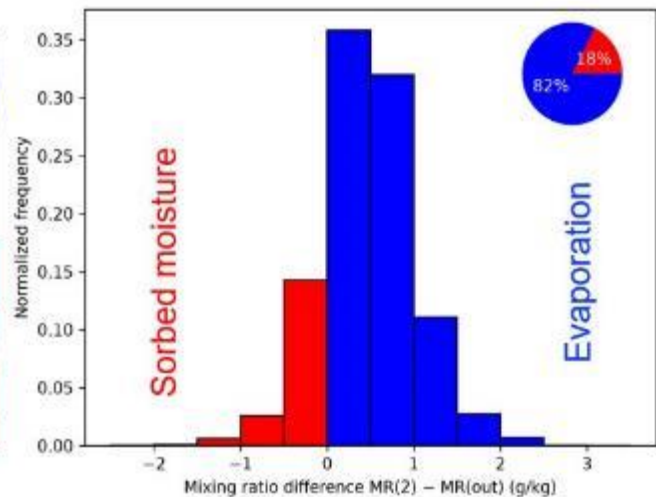
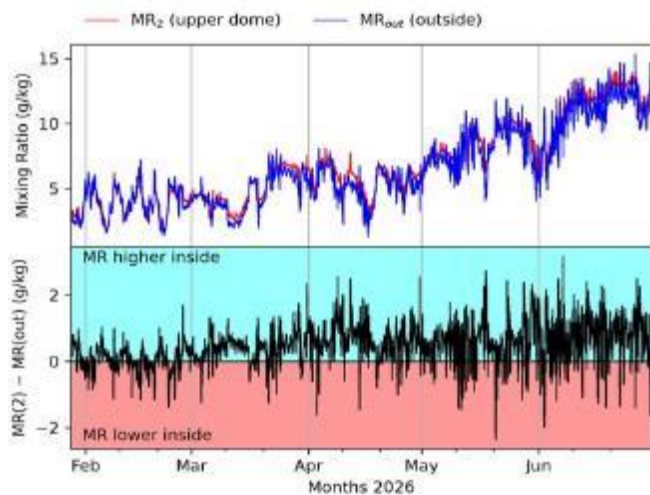
შერევის ფარდობა – ყველა სენსორი



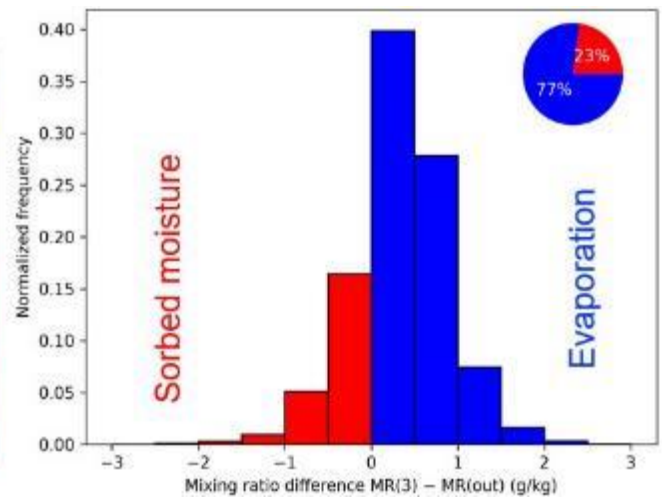
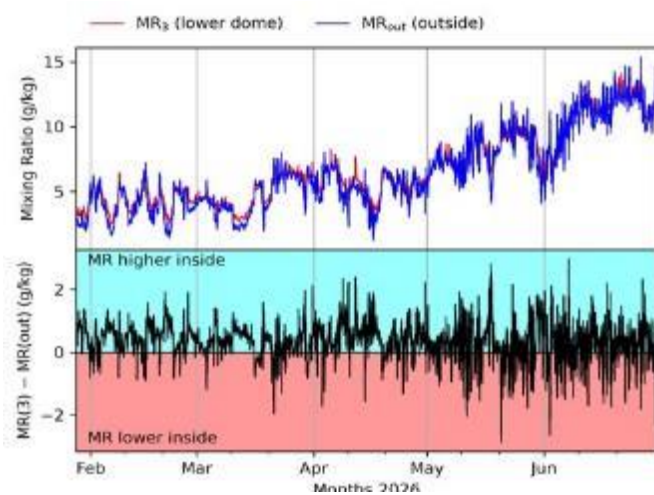
შიდა შერევის ფარდობის (MR) გაზომვები აჩვენებს გარე სენსორის (MR_{out}) მახასიათებლებთან ახლოს მყოფ მნიშვნელობებს, თუმცა მცირედი განსხვავებებით, რაც ძირითადად ± 1 გ/კგ ფარგლებში მერყეობს და იშვიათად აჭარბებს ამ მაჩვენებელს. დადებითი გადახრები დომინირებს (დროის დაახლოებით 80%-ში) უარყოფით გადახრებთან შედარებით (დროის 20%-ში).

ზემოაღნიშნული განსხვავება ნიშნავს, რომ აორთქლება ჭარბობს ტენის სორბციას (შთანთქმას). ეს ფაქტი მიუთითებს იმაზე, რომ ადგილი აქვს (ან ჰქონდა) წყლის გარკვეულ ინფილტრაციას, რაც განაპირობებს ზედმეტი ტენის არსებობას და ხელს უწყობს შიდა აორთქლებას

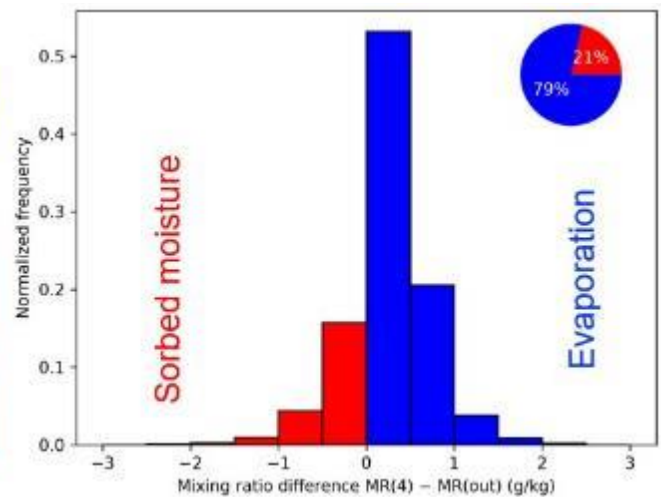
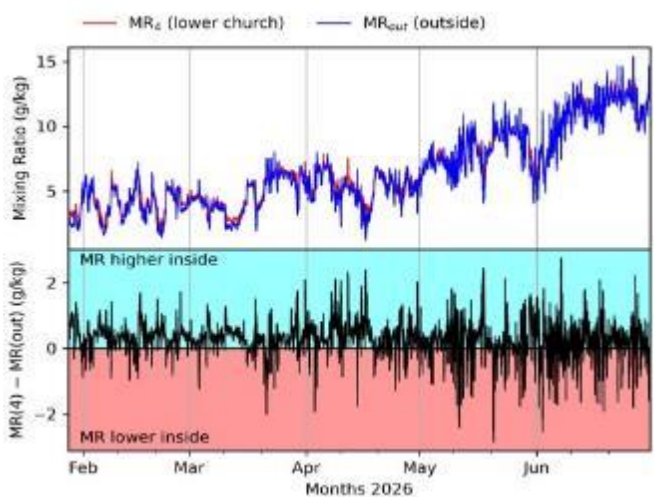
შერევის ფარდობა გუმბათის ყელის დონეზე (სენსორი 2)



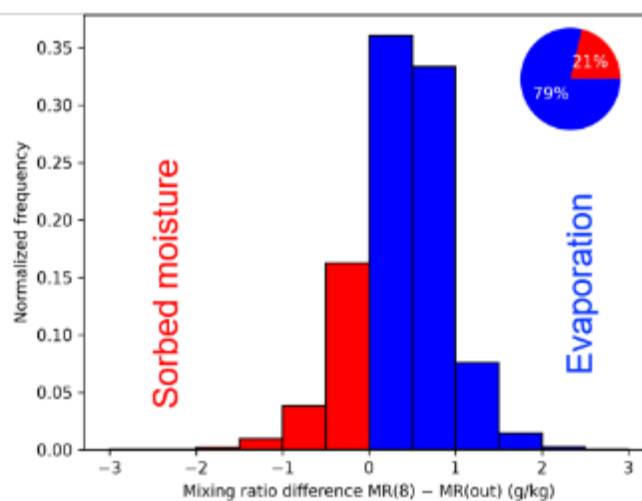
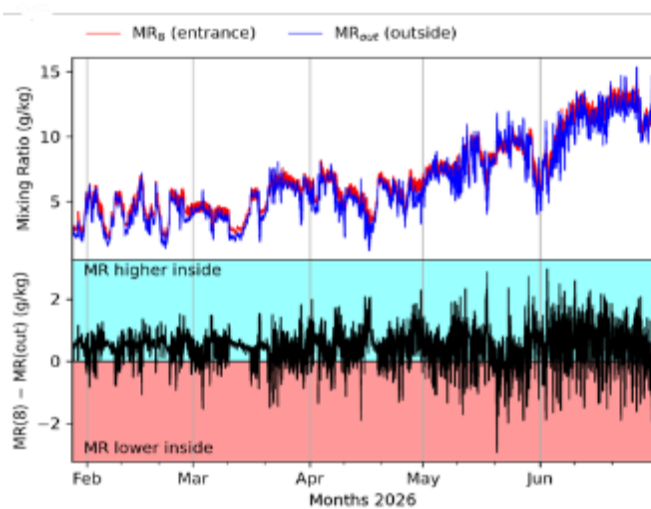
შერევის ფარდობა - კონქის დონეზე (სენსორი 3)



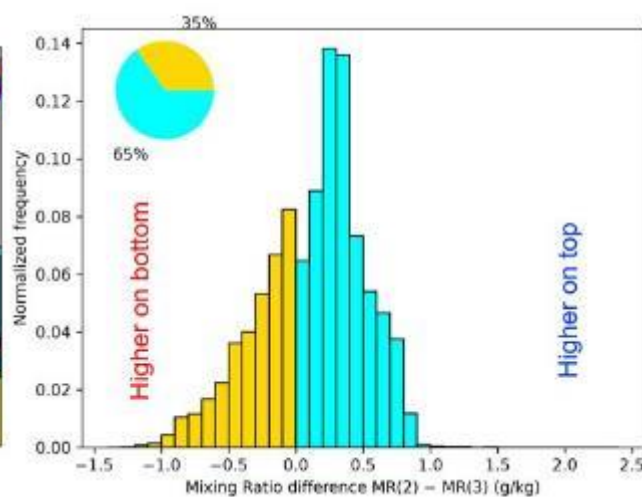
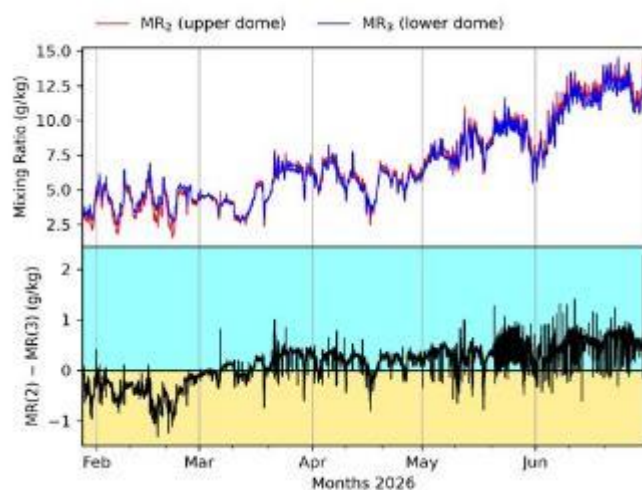
შერევის ფარდობა - ტაძრის ინტერიერის ქვედა დონეზე (სენსორი 4)



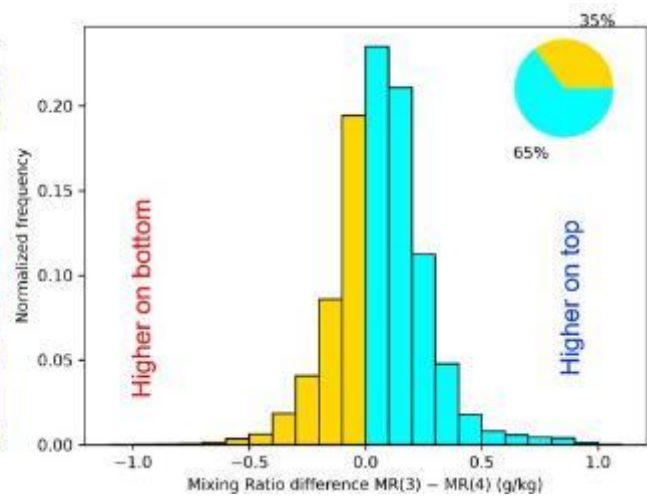
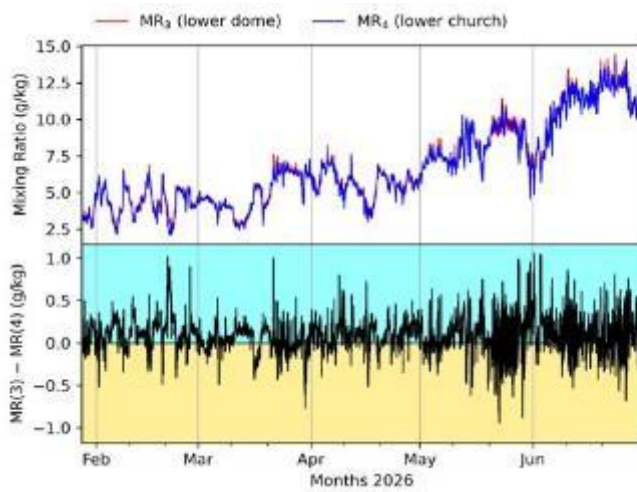
შერევის ფარდობა - კარიბჭის მინაშენში (სენსორი 8)



ტენზომეტრულობის სტრატეგიკაცია – გუმბათის ყელსა (2) კონქის სივრცეს შორის (3)

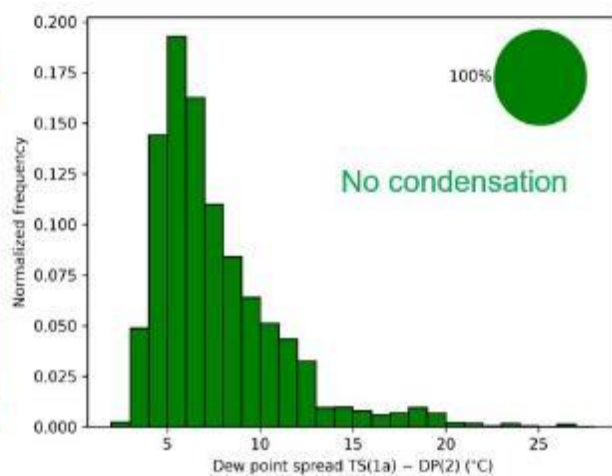
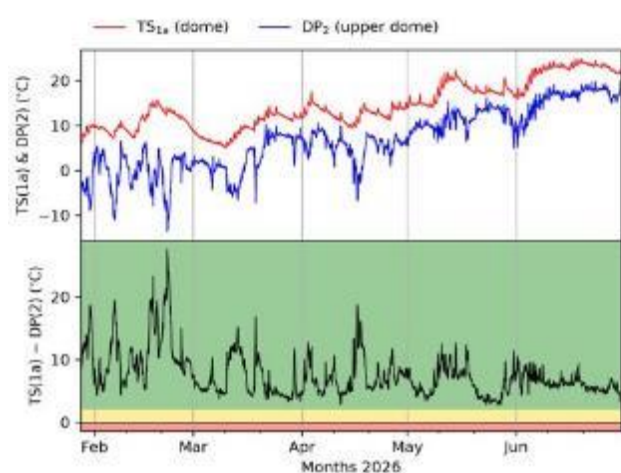


ტენზომეტრობის სტრატეგია: კონქსა (3) ტაძრის ინტერიერის ქვედა ღონეს შორის (4)



ნამის წერტილი და კონდენსაცია

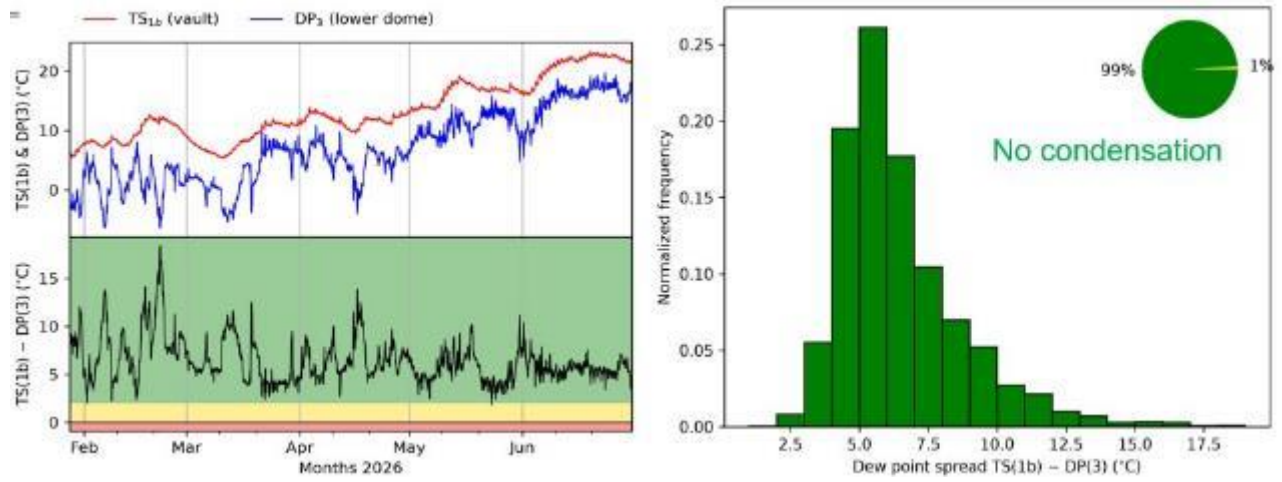
გუმბათის კამარა და გუმბათის ყელის სივრცე – ექვემდებარება თუ არა კონდენსაციის ზემოქმედებას?



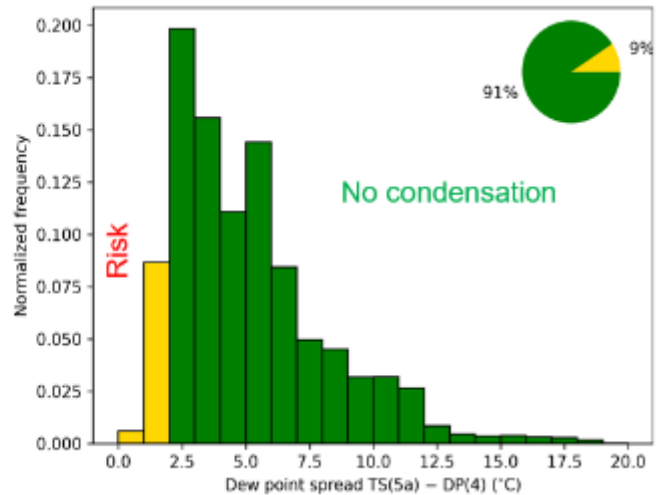
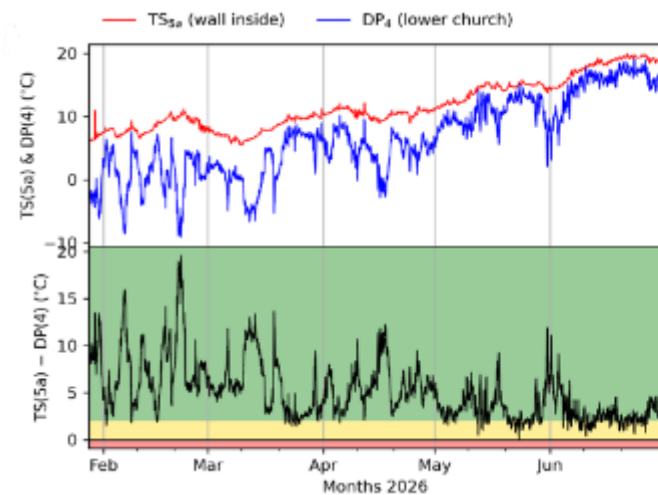
კონქი – ექვემდებარება თუ არა კონდენსაციის ზემოქმედებას?



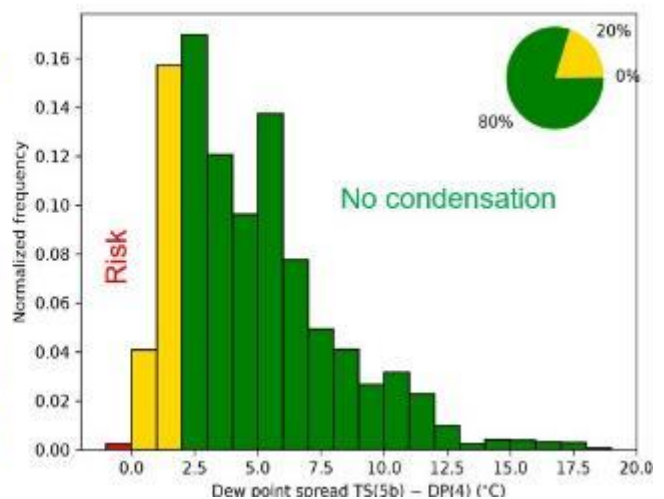
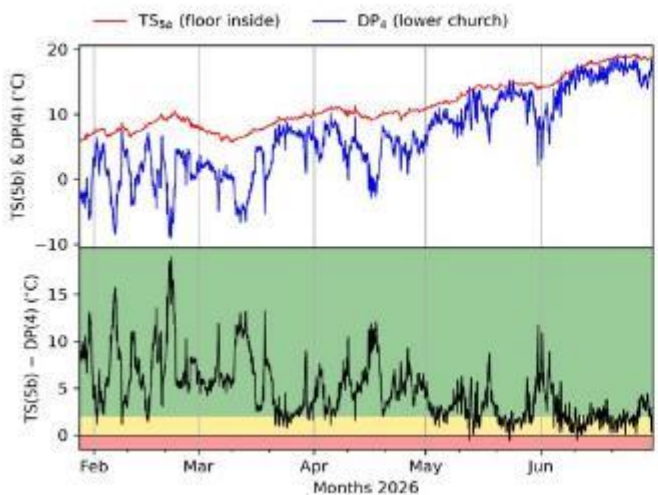
MICROCLIMATE MONITORING REPORT. PERIOD: JANUARY – JUNE 2026 – ST. GEORGE



ტაძრის ინტერიერის ქვედა ღონე – ექვემდებარება თუ არა კონდენსაციის ზემოქმედებას?



იატაკის ღონე - ექვემდებარება თუ არა კონდენსაციის ზემოქმედებას?

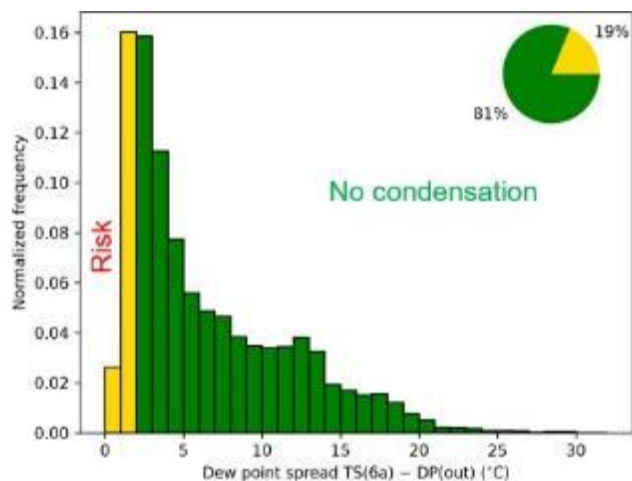
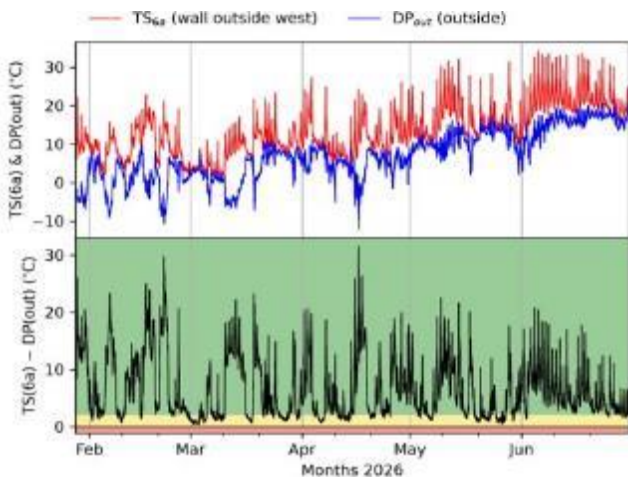
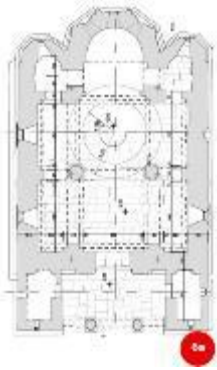


ზედაპირის ტემპერატურებისა და შესაბამისი ნამის წერტილის ტემპერატურების შედარებამ აჩვენა, რომ მონიტორინგის პერიოდში გუმბათზე, კამარებსა და კედლების ზედა ნაწილებში ზედაპირული კონდენსაციის რეალური შემთხვევები არ დაფიქსირებულა. გუმბათისა და კამარის დონეებზე ზედაპირის ტემპერატურა მუდმივად აღემატებოდა ნამის წერტილის ტემპერატურას და, ზოგადად, ნამის წერტილთან მიმართებით საკმაოდ ფართო დადებითი სხვაობა (dew-point spread) შეინიშნებოდა. შესაბამისად, აღნიშნული ზონები გამოირჩეოდა კონდენსაციის მიმართ უსაფრთხოების მნიშვნელოვანი მარაგით.

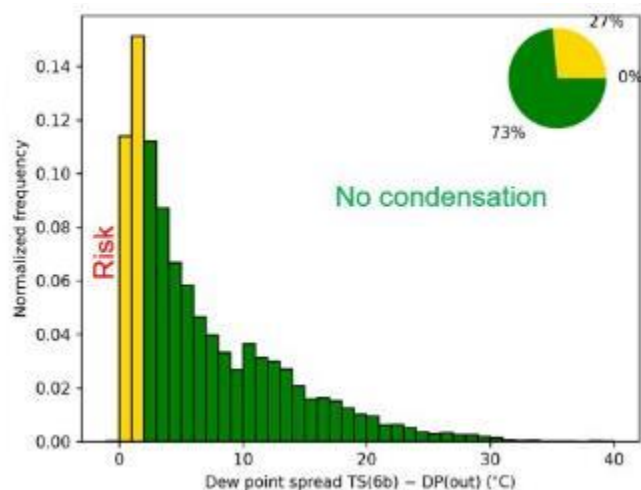
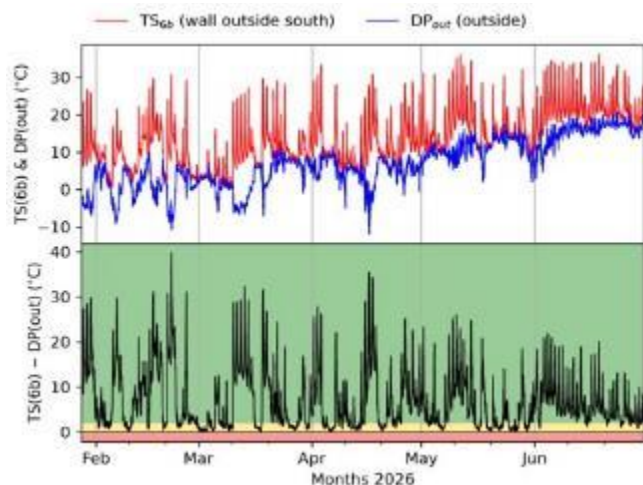
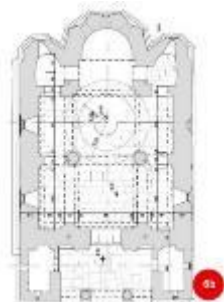
ყველაზე მცირე თერმული მარაგი დაფიქსირდა იატაკის დონეზე, განსაკუთრებით კედლის ქვედა ნაწილის ძირსა და იატაკზე. შიდა კედლის ქვედა დონე მონიტორინგის პერიოდის დაახლოებით 9%-ის განმავლობაში უახლოვდებოდა პოტენციურად კრიტიკულ პირობებს, მაშინ როდესაც იატაკის ზედაპირი დაახლოებით 20%-ის განმავლობაში იმყოფებოდა ნამის წერტილთან სიახლოვეში. მიუხედავად ამისა, ზედაპირის ტემპერატურა მნიშვნელოვნად არ დაცემულა ნამის წერტილის ქვემოთ და, შესაბამისად, დაფიქსირებული პირობები უნდა განიმარტოს როგორც კონდენსაციის რისკის შემცველი ან კონდენსაციასთან მიახლოებული მდგომარეობა და არა როგორც ხანგრძლივი ან განმეორებადი კონდენსაციის არსებობის მტკიცებულება.

როგორც უკვე აღინიშნა ღმრთისმშობლის შობის სახელობის ტაძართან მიმართებით, მიზანშეწონილია დაზუსტდეს, რომ იატაკის ქვის ზედაპირზე, კონდენსაციის შედეგად წყლის წვეთების ან ტენის დაგროვების შემთხვევაში, ეს ტენი, სავარაუდოდ, შედარებით ხანგრძლივი დროის განმავლობაში დარჩება ხილული, რადგან შიდა სივრცეში არსებული მაღალი ტენიანობის პირობებში მისი აორთქლება რთულდება. მნიშვნელოვანია გათვალისწინებულ იქნეს, რომ კონდენსაციის წარმოქმნის დრო აუცილებლობით არ ემთხვევა იმ პერიოდს, როდესაც იატაკის დანესტიანება ვიზუალურად შეინიშნება.

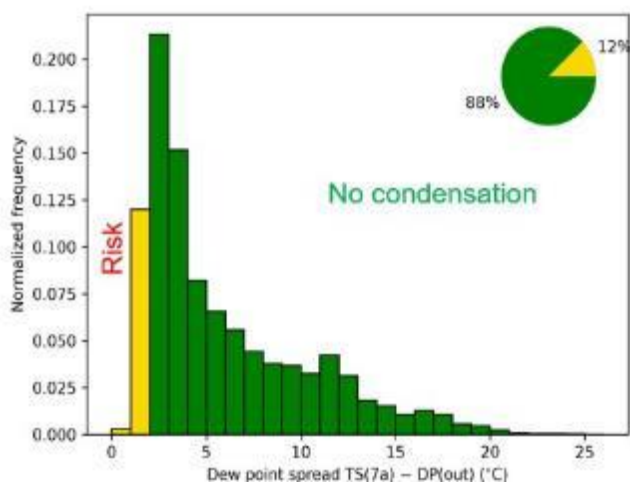
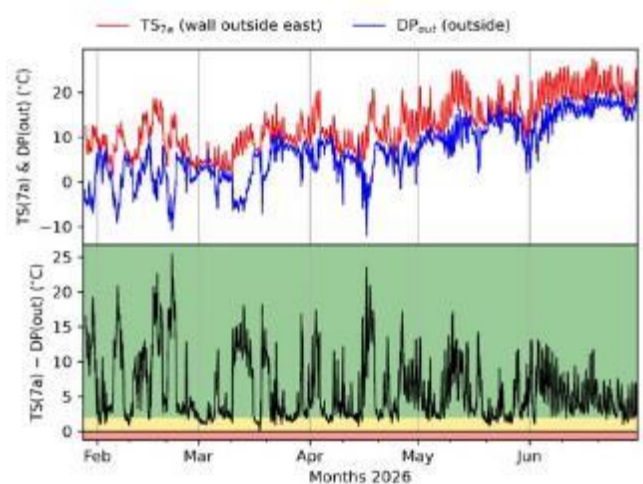
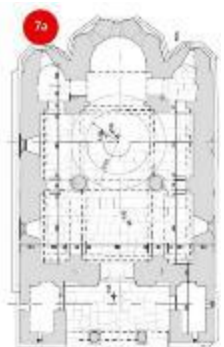
დასავლეთ ფასადის კედელი — ექვემდებარება თუ არა კონდენსაციის ზემოქმედებას?



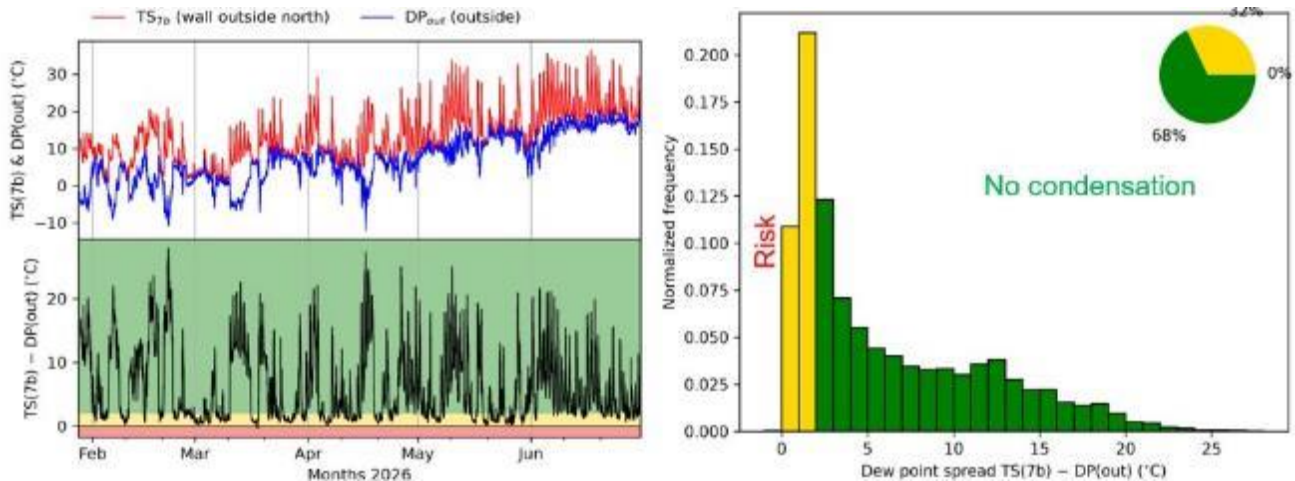
სამხრეთ ფასადის კედელი — ექვემდებარება თუ არა კონდენსაციის ზემოქმედებას?



აღმოსავლეთ ფასადის კედელი — ექვემდებარება თუ არა კონდენსაციის ზემოქმედებას?



ჩრდილოეთ ფასადის კედელი — განიცდის თუ არა კონდენსაციის ზემოქმედებას?



გარე კედლების ტემპერატურა, უმეტეს შემთხვევაში აღემატებოდა გარე ჰაერის ნამის წერტილის ტემპერატურას, თუმცა არა ყოველთვის. კრიტიკულთან მიახლოებული პირობების სიხშირე იცვლებოდა კედლების ორიენტაციის (მხარეების) მიხედვით და შეადგენდა: დაახლოებით 19%-ს დასავლეთის კედელზე, 27%-ს სამხრეთის კედელზე, 12%-ს აღმოსავლეთის კედელზე და 32%-ს ჩრდილოეთის კედელზე. შესაბამისად, ჩრდილოეთისკენ მიმართული გარე კედელი გამოირჩეოდა ყველაზე მცირე თერმული მარაგით (thermal margin), რაც სავსებით ემთხვევა მასზე მზის პირდაპირი რადიაციის შემცირებულ ზემოქმედებას. მთლიანობაში, მიღებული შედეგები ადასტურებს, რომ კვლევით მოცულ ექვსთვიან მონიტორინგის პერიოდში მნიშვნელოვანი კონდენსაცია არ დაფიქსირებულა, თუმცა ამავე დროს გამოიკვეთა, რომ ცივი და მაღალი ტენიანობის პირობებში ყველაზე მოწყვლად ზონებს წარმოადგენს იატაკი, შიდა კედლების ქვედა ქვის წყობა და ჩრდილოეთისკენ მიმართული გარე კედელი.

5. 2026 წლის პირველი ექვსთვიანი მონიტორინგის დასკვნები

2026 წლის იანვრიდან ივნისის ჩათვლით წარმოებულმა მონიტორინგმა აჩვენა, რომ წმინდა გიორგის ტაძრის შიდა მიკროკლიმატი ძირითადად განისაზღვრება ტაძრის კედლების თერმული ინერციითა და გარე გარემოსთან მიმდინარე ჰაერცვლის პროცესით. შიდა ტემპერატურა, საერთო ჯამში, იმეორებდა გარე გარემოს სეზონურ დინამიკას, თუმცა მასიური ქვის კონსტრუქცია ამ რყევებს მნიშვნელოვნად ამსუბუქებდა. ამასთან, გუმბათის ზედა ნაწილში დაფიქსირებული ტემპერატურის პიკური მნიშვნელობები, სავარაუდოდ, გამოწვეული იყო არეკლილი მზის რადიაციის ზემოქმედებით ან დროებითი ანთროპოგენური აქტივობით.

ხშირად აღინიშნებოდა სტაბილური ვერტიკალური თერმული სტრატეფიკაცია, რომლის დროსაც ტაძრის ზედა ნაწილებში ჰაერის ტემპერატურა უფრო მაღალი იყო, ხოლო ვერტიკალური ჰაერცვლა შეზღუდული ხასიათის იყო. შესაბამისად, ფარდობითი ტენიანობის განაწილებაც ტემპერატურული გრადიენტის გავლენით ყალიბდებოდა, მაშინ როდესაც შერევის ფარდობის (Mixing Ratio) მაჩვენებლები ტაძრის მთელ შიდა მოცულობაში თითქმის ერთგვაროვანი რჩებოდა. შიდა და გარე ჰაერის შერევის ფარდობის მნიშვნელობები, როგორც წესი, ერთმანეთთან ახლოს იყო და განსხვავება უმეტეს შემთხვევაში დაახლოებით ± 1 გ/კგ-ის ფარგლებში მერყეობდა. შიდა და გარე გარემოს შორის შერევის ფარდობის დადებითი სხვაობის ზომიერი სიხშირე მიუთითებს, რომ შენობის კონსტრუქციებიდან ტენის აორთქლების პროცესი კვლავ მიმდინარეობდა, თუმცა მისი ინტენსივობა განსაკუთრებით მაღალი არ იყო. ეს შეიძლება მიანიშნებდეს ქვის წყობაში შენარჩუნებული ნარჩენი ტენის არსებობაზე ან სახურავიდან ან ფანჯრებიდან წყლის შეზღუდულ ინფილტრაციაზე, რაც შემდგომი მონიტორინგის ფარგლებში დამატებით გადამოწმდება.

კონსერვაციის თვალსაზრისით, მონიტორინგის პერიოდში გუმბათზე, კამარებსა და შიდა კედლების ზედაპირებზე მნიშვნელოვანი კონდენსაცია არ დაფიქსირებულა. ყველაზე მოწყვლადი ზონები ტაძრის ქვედა დონეზე მდებარეობდა, სადაც იატაკისა და ქვედა ქვის წყობის ზედაპირების ტემპერატურა პერიოდულად უახლოვდებოდა ნამის წერტილს, განსაკუთრებით გაზაფხულის მიწურულს. შედარებით კრიტიკული პირობები ასევე აღინიშნებოდა ჩრდილოეთისკენ მიმართულ გარე კედელზე, რაც მზის პირდაპირი გამოსხივების შეზღუდული ზემოქმედებით იყო განპირობებული.

როგორც უკვე აღინიშნა ღმრთისმშობლის შობის სახელობის ტაძართან მიმართებით, შიდა მიკროკლიმატის გაუმჯობესება შესაძლებელია კონსერვაციული გათბობის სისტემის დანერგვით, კერძოდ, მაისიდან აგვისტოს ჩათვლით იატაკის მსუბუქი გათბობის გამოყენებით. ეკლესიების გათბობის როგორც კომფორტის, ისე კულტურული მემკვიდრეობის კონსერვაციის მიზნებისთვის შესაბამის რეკომენდაციებს ადგენს ევროპული სტანდარტი EN 15759-1:2011 — „კულტურული მემკვიდრეობის კონსერვაცია — შიდა მიკროკლიმატი — ნაწილი 1: ეკლესიების, სამლოცველოებისა და სხვა რელიგიური დანიშნულების ნაგებობების გათბობის სახელმძღვანელო მითითებები“ (Conservation of Cultural Property — Indoor Climate — Part 1: Guidelines for Heating Churches, Chapels and Other Places of Worship), კერძოდ, 7.2.2 ქვეთავი — „კონსერვაციული გათბობა“ (Conservation Heating). აღნიშნული ღონისძიების განხორციელება აუცილებელ მოთხოვნას არ წარმოადგენს, თუმცა მისი განხილვა მიზანშეწონილი შეიძლება იყოს იმ შემთხვევაში, თუ გელათის რეაბილიტაციის დროებითი კომიტეტი მთელი კალენდარული წლის განმავლობაში შიდა მიკროკლიმატის უფრო სტაბილური და უსაფრთხო პირობების უზრუნველყოფას საჭიროდ მიიჩნევს.

6. ევროპის შესაბამისი სტანდარტები

EN 15757: 2010. კულტურული მემკვიდრეობის კონსერვაცია — ტემპერატურისა და შედარებითი ტენიანობის სპეციფიკაციები ორგანული ჰიგროსკოპიული მასალების კლიმატის შედეგად გამოწვეული მექანიკური დაზიანების შეზღუდვის მიზნით.

EN 15758: 2010. კულტურული მემკვიდრეობის კონსერვაცია — პროცედურები და ინსტრუმენტები ჰაერისა და ობიექტების ზედაპირის ტემპერატურის გაზომვისთვის.

EN 16242: 2012. კულტურული მემკვიდრეობის კონსერვაცია — პროცედურები და ინსტრუმენტები ჰაერის ტენიანობისა და ჰაერსა და კულტურული მემკვიდრეობის ობიექტებს შორის ტენიანობის გაცვლის გაზომვისთვის.

EN 16682: 2017. კულტურული მემკვიდრეობის კონსერვაცია — მეთოდები ტენიანობის ან წყლის შემცველობის გაზომვისთვის უძრავი კულტურული მემკვიდრეობის ძეგლების მასალებში.

EN 15759-1: 2011. კულტურული მემკვიდრეობის კონსერვაცია — შიდა კლიმატი, ნაწილი 1: გზამკვლევი ეკლესიების, სამლოცველოების და სხვა რელიგიური დანიშნულების ნაგებობების გათბობისთვის.

EN 15759-2. კულტურული მემკვიდრეობის კონსერვაცია — შიდა კლიმატი, ნაწილი 2: ვენტილაციის მართვა კულტურული მემკვიდრეობის შენობებისა და კოლექციების დაცვის მიზნით.