

Prof. Marko Filipi,
dipl. Inž.,
prof. Karla Lombardi,
dipl. inž.,
dr Kjara Silvi, dipl.inž.,
Dipartimento di
Energetica, Politecnico
di Torino, Italija

U Italiji je stupio na snagu jedan propis koji se odnosi na metod procena uslova sredine, svetla, temperature i vlažnosti vazduha, u muzejima i prostorijama u kojima se čuvaju istorijska umetnička dobra. Metod je ispitivan u jednoj od sala Castello del Valentino u Torinu. Radi analize ponašanja unutrašnjih termo-higrometarskih promenljivih, proračunati su relativna vlažnost i njena vremenska promena kao i neki pokazatelji rizika. U članku se, uz komentarisanje toga propisa, ukazuje i na efikasnost i mnogostranost ovih pokazatelja.

Konzervacija istorijskih i umetničkih dobara

1. Uvod

Nijedno umetničko delo neće trajati večno, ali ako je zaštićeno, moći će da traje vekovima. Jedan od zadataka odgovornih za njihovo očuvanje je da umetnička dela drže u "sigurnom" ambijentu, odnosno u okolini u kojoj će ona biti zaštićena od brojnih uzročnika propadanja. To važi i za velike i za male pokretne predmete (slike, skulpture, knjige itd.), i za velike i male predmete koji se nalaze na mestima gde su nadeni (ukrasi, freske, nameštaj itd.), kao i za istorijsko-monumentalne zgrade koje su muzeji same po sebi. Uzroci propadanja, do danas identifikovani, su:

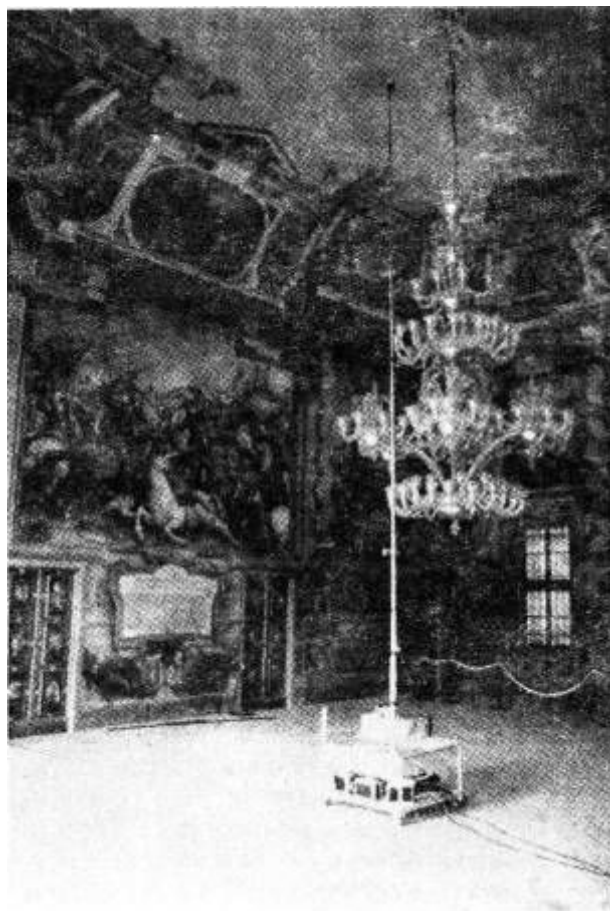
- elektromagnetna zračenja koja nastaju od prirodnih i veštačkih izvora svetlosti;
- termo-higrometrijski uslovi vazduha u kontaktu sa predmetom;
- opšti kvalitet vazduha u kontaktu sa predmetom.

Što se tiče elektromagnetnih zračenja, ona su štetna i izazivaju promene temperature površine koju pogađaju, a te promene su utoliko veće, ukoliko je samo zračenje veće. Nivo zračenja svetlosti i akumulacija svetlosne energije, određuju rizik koji od njih proizilazi. Kad je reč o termo-higrometrijskim uslovima vazduha, a imajući u vidu da rukotvorina uvek teži da postigne ravnotežu sa svojom okolinom, ispostavlja se da u okviru prihvatljivih temperaturnih intervala i relativne vlažnosti, veći rizik za očuvanje proističe od brojnosti promena u vremenu.

Što se tiče kvaliteta vazduha, problem je u kontrolisanju koncentracija zagađivača, čvrstih ili gasovitih, koji su prisutni u vazduhu, prašina, sumporni anhidridi, ozon, azotni oksid. Svi ovi identifikovani parametri zajedno, će u daljem tekstu biti nazivani *uslovima okoline*.

Ako se analiziraju norme, preporuke i izveštaji radnih grupa koji su sastavljeni u evropskim i vanevropskim zemljama (Francuskoj, Belgiji, Velikoj Britaniji, SAD i Kanadi), da bi utvrdilo koji klimatski uslovi, svetlost i kvalitet vazduha mogu biti "sigurni" za čuvanje, naći ćemo podatke o takozvanim "optimalnim uslovima". Nakon analize obimne i potpune bibliografske dokumentacije, radna grupa Politecnica iz Torina je napravila tabelu, u kojoj su različitim umetničkim delima, podeljenim u 33 kategorije, namenjene optimalne temperaturne vrednosti Q i relativne vlažnosti UR, kao i maksimalne vrednosti osvetljenja E,

doze svetlosti LO, dnevne varijacije temperature i vlažnosti (tabela 1).



Slika 1. Velika sala zamka Valentino u Torinu, sa stubom za sonde, povezana sa sistemom za beleženje podataka

Iz toga proizilazi da će, ukoliko se raspolaže skupom polaznih vrednosti za navedene veličine, biti moguće, uz prethodno merenje vrednosti koje su veličine poprimile u ograničenom

Tabela 1.

Kolekcija	θ [°C]	$\Delta\theta_{\max}^*$ [°C]	UR [%]	$\Delta UR_{\max}^*$ [%]	$E_{\max}$ [lx]	$UV_{\max}$ [μW/lm]	LO**Mlx- h /godina
Bojene drvene skulpture, drveni zidni satovi, muzički instrumenti	19-24	1.5	50-60	2	150	75	0.5
Nebojene drvene skulpture, predmeti od vrbe	19-24	1.5	45-60	2	150	75	0,5
Freske i sinopije	10-24	-	55-65	-	-	-	-
Zidne slike	10-24	-	50-55	-	150	75	0,2

*Varijacija dozvoljena tokom 24 sata.

**Doza svetlosti koju jedan predmet može primiti tokom jedne godine, dobijena množenjem 10 sati na dan i 360 dana u godini. Maksimalno dozvoljeno osvetljavanje.

prostoru u kome se čuvaju, uporediti "realne" i "optimalne" vrednosti i definisati stepen podudaranja samog prostora sa čuvanjem umetničkog dela.

Ipak, stručnjaci za očuvanje dobara ne savetuju takav prilaz, već savetuju da se, koliko god je moguće, upoznaju uslovi okoline kojima je bio podvrgnut predmet tokom vremena i da se u odnosu na njih razmotri postojanje procesa propadanja.

Moguće je da se rukotvorina prilagodila uslovima okoline koji nisu "optimalni" za materijal od kog su sastavljene i da neće pretrpeti nikakvu veću štetu samo ako se oni takvim održe. Povratak u prvobitno stanje mogao bi da prouzrokuje proces propadanja zbog neophodnog prilagođavanja novoj klimi.

Sve ovo zajedno je bio motiv da se stvori jedna nova norma pod naslovom "Analiza i procena ambijentalnih, termičkih, higrometrijskih i svetlosnih uslova pri čuvanju dobara od istorijskog i umetničkog značaja".

Tekst norme je na javnom razmatranju i radna grupa Politehnike iz Torina, koja je u sadržaj ove norme ugradila sve svoje iskustvo stečeno tokom godina mukotrpog istraživanja kvaliteta okoline za čuvanje muzejskih dobara, smatra da je veoma važno evidentirati neke posebnosti. Ti posebni elementi su važni i za produbljivanje značaja i ciljeva praktične analize, kojom bi se došlo do definisanja ograničene, klimatizovane okoline, namenjene čuvanju dobara koja nemaju veći istorijski ili umetnički značaj.

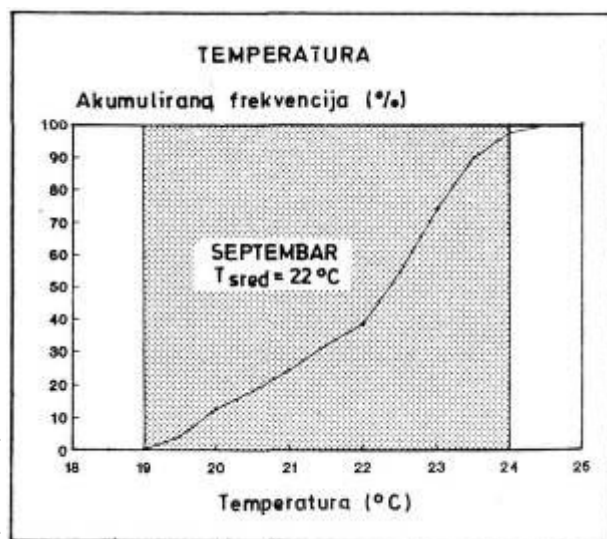
2. Postavka problema

2.1. Premisa

Da bi se postigla kompatibilnost među vrednostima veličina okoline, izmerenih u jednom ograničenom prostoru i čuvanja umetničkog dela, i u cilju pripreme eventualnih intervencija, ispravan pristup problemu mora podrazumevati:

- analizu klimatske istorije rukotvorine u pogledu izdržanih procesa propadanja,
- analizu uslova okoline koji karakterišu prostor u kome se rukotvorina čuva,
- izražavanje suda o naklonosti okoline pravilnom čuvanju umetničkog dela,
- definisanje funkcija (grejanje, hlađenje, vlaženje, filtriranje, zaštita od zračenja itd.) koje korektivne intervencije treba da predvide.

U skladu sa ovim metodološkim pristupom, u normi su opisani modaliteti dokumentacije o klimatskoj istoriji rukotvorine, ilustrovana je metodologija analize okoline i data su uputstva za prevazilaženje rizičnih uslova za čuvanje umetničkog dela, ukoliko se pojave.



Slika 2. Dijagram kumulativnih frekvencija unutrašnje temperature u septembru. Pokazuje oblasti "optimalnih" vrednosti za skulpture od bojenog drveta

2.2. Klimatska istorija umetničkog dela

Da bi se dokumentovala klimatska istorija rukotvorine, predlažemo popis odrednica koji se može dodati tradicionalnom katalogizacionom spisku dobara od istorijskog i umetničkog značaja. Pri sastavljanju ovog popisa, insistirali smo na usklađivanju sa primerima katalogizovanih spiskova koje su nam ustupile neke muzejske institucije.

Prvi deo ovog propisa, napisan da bi se shvatila aktuelna situacija, sadrži tri suštinske stavke:

- mesto predmeta (recimo na spoljnjem zidu, u zoni pod intenzivnom prirodnim svetlošću, u blizini nekog izvora toplote, u vitrini);
- naznake o očuvanosti predmeta (ova stavka je rezervisana za kustose, koji poznaju stepen očuvanosti rukotvorina i samim tim umeju da primete postojanje eventualnih procesa propadanja);
- vrednosti veličina okoline (vrednosti, izmerene u trenutku sastavljanja spiska, temperature, vlažnosti i osvetljenosti).

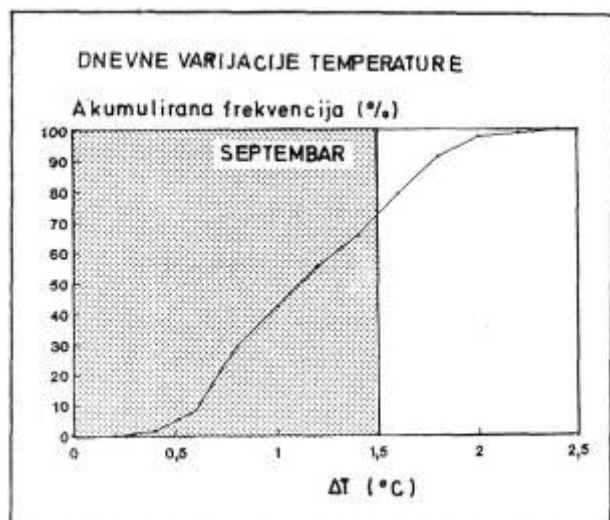
Uz to, tu je i zahtev za informacijama neophodnim za karakterizaciju sistema klimatske kontrole - o kontrolisanoj okolini, modalitetima intervencija i polju regulacije i korišćenim kontrolnim uređajima.

Drugi deo popisa odrednica služi za registrovanje vrednosti do kojih se dolazi pri posmatranjima instrumentima

postavljajući podatke u vremenski sled, stvara se klimatska istorija i istorija propadanja predmeta.

2.3. Analiza okoline

Da bi se postigla kompatibilnost termo-higrometrijskih veličina sa potrebama konzervacije i da bi se sagledali eventualni rizici po umetničko delo, savetujemo da se utvrde na samo srednje vrednosti temperature i relativne vlažnosti, već i obuhvatnost i brzina oscilacija tih veličina u odnosu na srednje vrednosti. Srednje vrednosti bi trebalo da budu približne onima koje se na osnovu klimatske istorije ruketvorine smatraju umesnim. Ukoliko takve podatke nemamo, onda se određuju na osnovu "optimalnih" polaznih vrednosti, do prihvatljivost amplitude i brzine oscilacija zavisi od osetljivosti pojedinih materijala na klimatske veličine i vremenske konstante reakcije samog umetničkog dela na varijacije veličine okoline.



Slika 3. Dijagram kumulativne frekvencije dnevnih promena unutrašnje temperature za septembar. Vidi se oblast "optimalnih" vrednosti za skulpture od bojenog drveta

Ako je povećana konstanta vlažnosti u jedinici vremena, recimo, veće oscilacije relativne vlažnosti u toku jednog sata izazvale bi neznatnu promenu vlažnosti samog umetničkog dela, pa, dakle, ona može biti prihvatljiva. Ista takva oscilacija koja bi se dogodila u odnosu na srednju vrednost u roku od 24 sata, mogla bi biti opasna. Za svetlosna zračenja, treba nešto drugo imati u vidu. Svetlosna energija koja pogađa predmet, uopšte uzev, varira u vremenu i obično je akumulirana energija i parametar rizika za očuvanja ruketvorine. Iz registrovanih vrednosti osvetljenja u toku jednog časa, lako se nalazi energija koju predmet akumulira u posmatranom vremenskom periodu.

Ovakva analiza okoline temelji se na izvođenju jedne kampanje merenja, na bazi jednog sata za odgovarajući period (15 dana, mesec i više), u vremenskim periodima koji se smatraju dovoljnim za utvrđivanje kritičnih uslova za očuvanje.

Veličine u okolini koje treba utvrditi za prostor određen za čuvanje dobara od istorijskog i umetničkog interesa, treba izmeriti: relativnu vlažnost i temperaturu vazduha, osvetljenje i ultravioleto zračenje. Kada postoji posebna potreba (spoljni zidovi ili blizina izvora toplote), predviđeno je i merenje temperature površine.

Kada je reč o lokalizovanju merenja, predlažemo njegove dve faze. U prvoj fazi se vrše merenja prenosivim instrumentima,

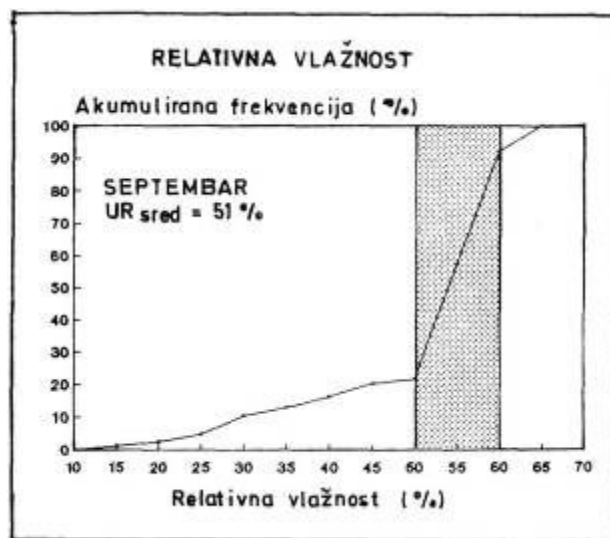
u normalnom danu samog prostora, tačnih veličina predmeta; premeravanja se vrše u horizontalnom i vertikalnom položaju, da bi se utvrdilo postojanje prostornih gradijenata temperature i relativne vlažnosti i posebne vrednosti površinske temperature.

Ukoliko su prostorni gradijenti zanemarljivi, može se smatrati da je prostor "sa koncentrovanim parametrima" i u drugoj fazi se merenja vrše samo u centralnoj poziciji (čvor). U suprotnom, prostor treba podeliti u više zona i svaku odvojeno obraditi "sa koncentrovanim parametrima", kako bi se tačno utvrdila mikroklima (zbog toga su u normi predloženi modaliteti podele prostora).

Što se tiče izbora vremena u kojem se vrši merenje, izdajamo dva tipična slučaja:

- ukoliko se namerava dobiti dijagnoza kompleksnog ponašanja prostora, kako bi se eventualno upotreбили određeni uređaji, savetujemo da se vrše merenja tokom cele jedne godine;
- ako se žele kontrolisati veličine prostora iz različitih razloga, da bi se kontrolisala klima u periodu koji se smatra posebno rizičnim, savetujemo da se merenja vrše u periodu od najmanje 15 dana.

U svakom slučaju, dobija se vremenska serija podataka na časovnoj osnovi, za svaku od merenih veličina.



Slika 4. Dijagram kumulativnih frekvencija unutrašnje relativne vlažnosti za septembar. Vide se oblasti "optimalnih" vrednosti za skulpture od bojenog drveta

2.4. Pokazatelji rizika pri očuvanju

Da bi se utvrdile veličine temperature, relativne vlažnosti i osvetljenosti, treba napraviti elaborat podataka pomoću statičkog metoda kumulativne frekvencije, polazeći od vremenskih serija vrednosti utvrđenih za svaki sat. Tako se stvaraju dijagrami kumulativnih frekvencija sledećih parametara na mesečnoj bazi:

- časovne vrednosti temperature vazduha,
- promene temperature tokom jednog sata,
- dnevne promene temperature (tokom 24 sata),
- časovne vrednosti relativne vlažnosti,
- promene relativne vlažnosti tokom jednog sata,
- dnevne promene relativne vlažnosti (tokom 24 sata),
- časovne vrednosti temperature površine.

- časovne vrednosti razlike u temperaturi na površini i temperature vazduha u tački najbližoj površini,
- časovne vrednosti razlika u temperaturi vazduha dva susedna čvora,
- časovne vrednosti razlika relativne vlažnosti vazduha između dva susedna čvora,
- časovne vrednosti osvetljenosti.

Pored toga, treba izračunati srednje vrednosti mesečne i godišnje temperature i relativne vlažnosti vazduha.

Ako raspoložemo gamom polaznih vrednosti za svaki parametar dijagrama i ako unesemo te polazne vrednosti na odgovarajući dijagram kumulativnih frekvencija, može se utvrditi vremenska stopa u kojoj svaki parametar dobija vrednosti koje su van polja koje se smatra prihvatljivim. Ta vremenska stopa je "pokazatelj rizika" za varijabilu koju ispituje.

U posebnom slučaju, u kojem bi gama navedenih polaznih vrednosti predstavljala prihvatljive vrednosti za čuvanje određenih rukotvorina (tabela 1), pokazatelj koji smo izveli na opisan način, postaje "pokazatelj rizika po očuvanje" samog umetničkog dela.

Uz pokazatelje rizika koje smo dobili iz kumulativnih frekvencija, usvojimo još dva:

- pokazatelj rizika od ultravioletnog zračenja, kao sadržaj dobijen po jedinici svetlosnog fluksa (koji treba uporediti sa maksimalnom prihvatljivom vrednošću);
- pokazatelj rizika od doze svetlosti, kao vrednost svetlosne energije koja tokom konvencionalnog perioda od jedne godine deluje na jedinicu površine (koju treba uporediti sa maksimalno prihvatljivim vrednostima).

Zadatak onoga ko je odgovoran za očuvanje dobara jeste da utvrdi da li su ovako dobijeni pokazatelji rizika kompatibilni sa potrebom da se smanji neizbežni proces propadanja dela. Njegov zadatak je takođe da utvrdi prihvatljivost promena temperature ili relativne vlažnosti vazduha u odnosu na srednju godišnju vrednost, ili varijacije srednjih vrednosti u jednom periodu (dekadi, mesecu) u odnosu na prethodni period.

3. Studija jednog slučaja

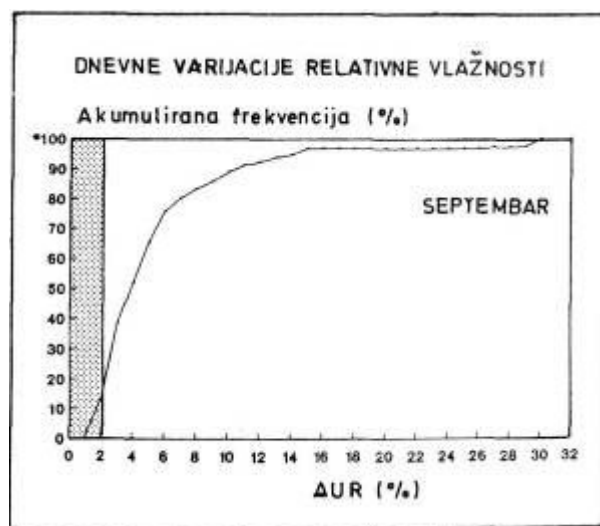
"Pokazatelji rizika po očuvanje" predloženi u normi su sređeni tokom jedne analize okoline, koja je obavljena da bi se utvrdila kretanja termohigrometrijskih, temperaturnih i veličina vlažnosti vazduha, u jednoj sali zamka Valentino u Torinu, sedištu Arhitektonskog fakulteta. Sala je dimenzija 16 x 11 m u osnovi, visine 9,5 m u centru, sa zidovima dekorisanim freskama i ukrasima i bez ikakvog sistema za kontrolu klime. Kampanja merenja započeta je u julu 1992. i završena u oktobru 1993. godine, tokom koje je dobijeno preko dvadeset hiljada podataka. Merenje je vršeno sondom montiranom na stubu visine 8 m, povezanom sa magnetnom kasetom za beleženje podataka. Sonde za temperaturu i vlažnost su bile fiksirane na različitim visinama (slika 1), da bi se utvrdili eventualni termo-higrometrijski gradijenti. Sonde za temperaturu (termootpornici) su bile postavljene na kotama 1,50, 3,60, 5,70 i 7,80 m. Sonde za relativnu vlažnost, rezistivnog tipa, bile su na kotama 1,50 i 7,80 m. Svi podaci su registrovani na časovnoj osnovi.

Da bi se na horizontalnom planu izmerile promene vrednosti veličina, postavljene su sonde za temperaturu i relativnu vlažnost na visini od 1,50 m na druge dve tačke u prostoriji (istočnoj strani prema spolja i zapadnoj strani prema ulaznom stepeništu). Pokazalo se da su prostorni gradijenti temperature i relativne vlažnosti beznačajni i na vertikalnom i na horizontalnom planu. Stoga je prostor posmatran sa koncentrovanim parametrima i kao reprezentativne su uzete srednje vrednosti unutrašnjih klimatskih uslova izmerene na različitim tačkama.

Podaci su elaborirani na mesečnoj bazi, a naročito su obeleženi dijagrami kumulativne frekvencije sledećih veličina: temperature, promene temperature tokom jednog sata, dnevnih varijacija temperature, relativna vlažnost, promene relativne vlažnosti tokom jednog sata, dnevne promene relativne vlažnosti. Nakon toga, utvrđene vrednosti su uporedne sa "optimalnim", datim u tabeli 1, zavisno od materijala u prostoriji.

Imajući u vidu dijagram kumulativnih frekvencija temperature utvrđenih za mesec septembar (slika 2) za skulpture od drveta, pokazalo se da je kumulativna frekvencija koja odgovara vrednosti od 19°C, blizu nule, dok je ona za 24°C tačno 97%. Kako prihvatljivi temperaturni interval obuhvata 97% vremena, proizilazi da je pokazatelj rizika po očuvanje posmatranog materijala u mesecu septembru 3%.

Na isti način, pomoću dijagrama na slikama 3, 4, i 5, do pokazatelja rizika za vrednosti ΔQ , UR i ΔUR . Te vrednosti su u tabeli 1. Može se primetiti da su u posebnim slučajevima rizici koji zavise od temperature minimalni i jednaki za sva umetnička dela koja smo posmatrali, dok je onaj koji zavisi od vlažnosti važniji za freske i zidne slike.



Slika 5. Dijagram kumulativnih frekvencija dnevnih promena unutrašnje relativne vlažnosti za septembar. Vide se oblasti "optimalnih" vrednosti za skulpture od bojenog drveta

Poređenjem obavljenim u svim mesecima godine, utvrđeno je da:

- srednja mesečna temperatura značajno varira od meseca do meseca i tokom mnogih meseci je potpuno van intervala "optimalnih" vrednosti;
- srednja mesečna relativna vlažnost, koja je uglavnom stabilna tokom različitih godišnjih doba i iz meseca u mesec, pada u "optimalnom" vrednosnom intervalu u proseku 60% od satnih vrednosti.

4. Zaključak

Postupak analize okoline i njene klasifikacije u cilju očuvanja dobara u njoj, koji su ovde ilustrovani, imaju "objektivni" i "subjektivni" aspekt.

Objektivno stanovište je ono koje proizilazi iz posmatranja instrumentima veličina okoline. Analitičar okoline može na objektivna načina definisati uslove u jednom prostoru, pomoću

Tabela 2. Vrednosti pokazatelja rizika po očuvanje

Promenljive	Optimalne vrednosti		Kumul. frekvencija minim. vred. (%)	Kumul. frekvencija maks. vred. (%)	Pokazatelj rizika po očuvanje
θ	Min. °C	Maks. °C			
Skulpture od bojenog drveta	19	24	0	97	3
Skulpture od nebojenog drveta	19	24	0	97	3
Freske	10	24	0	97	3
Zidne slike	10	24	0	97	3
UR	%	%			
Skulpture od bojenog drveta	50	60	20	95	25
Skulpture od nebojenog drveta	45	60	20	95	25
Freske	55	65	55	100	55
Zidne slike	50	55	20	55	65
$\Delta\theta$	°C				
Skulpture od bojenog drveta	1,5		'	72	28
Skulpture od nebojenog drveta	1,5		'	72	28
Freske	-		'		
Zidne slike	-				
ΔUR	%				
Skulpture od bojenog drveta	2		14	86	
Skulpture od nebojenog drveta	2		14	86	
Freske	-				
Zidne slike	-				

dijagrama kumulativnih frekvencija i srednjih mesečnih i godišnjih vrednosti.

Subjektivni aspekt se tiče procene tih informacija u odnosu na prihvatljivost vrednosti dobijenih od ispitanih varijabla. Očigledno je da je zadatak onoga ko je odgovoran za očuvanje da reši dva osnovna pitanja: prvo da odredi intervale u kojima mogu varirati vrednosti veličina okoline i vrednosti njihovih amplituda, bez štete na materijalima koji se čuvaju. Drugo je definicija prihvatljivih vrednosti pokazatelja opasnosti po očuvanje.

Uprkos tome što je iskustvo pokazalo da je mnogo predmeta očuvano u neklmatizovanim prostorijama, ako bi se uzele "optimalne" vrednosti i one se poštovala tokom svakog meseca u godini, došlo bi se do zaključka da svi prostori namenjeni čuvanju dobara moraju biti klimatizovani. Prema tome, trebalo bi obaviti jedno obimno istraživanje. Recimo, trebalo bi, uz predloženu metodologiju, izvršiti analizu prostorija u kojima se nalaze razna dobro očuvana umetnička dela (gde opasnosti za očuvanje praktično ne postoje) i odatle izvući prihvatljive vrednosti za ta umetnička dela, polazeći od pokazatelja rizika i sezonskih varijacija veličina okoline.

Tretirani postupak bi se mogao koristiti i u oblastima koje se ne bave očuvanjem istorijskih i umetničkih dobara. Mogao bi se koristiti i u analizi prostorija u kojima se čuvaju papir, drvo, prehrambeni proizvodi, lekovi, materijali od gvožđa i dr.

Literatura

- [1] **Filippi, M.:** *Gli impianti nei musei*, Condizionamento dell' Aria, Riscaldamento, Refrigerazione, avgust 1987, br. 8, str. 965-984.
- [2] **Bongiovanni, L., M. Filippi:** *Qualita ambientale nei musei e negli archivi: un metodo di analisi e valutazione dei dati fisici ambientali*, Proceedings of AIPnD - ICR 2nd Conference on Non-Destructive Testing, Microanalytical Methods, and Environment Evaluation for Study and Conservation of Works of Art, Peruda, 17-20. aprila 1988, knjiga 3, str. 8.1-8.17.
- [3] **Filippi, M., C. Aghemo, G. Casetta, C. Lombardi, M. Vaudetti:** *Auditing the museum environment: a project in Italy's Piedmont region*, Museum, UNESCO, 1989, broj 4.
- [4] **Filippi, M., C. Aghemo, C. Silvi:** *Climatic risk in the conservation of historic buildings*, Proceedings of 3rd International Conference on Non-Destructive Testing, Microanalytical Methods and Environment Evaluation for Study and Conservation of Works of Art, Viterbo, 4-8. oktobar 1992, knjiga 2, strana 965-974.
- [5] **Aghemo, C. C. Silvi:** *Previsione de U'andamento della temperatura e dell'umidità all'interno di ambienti non condizionati con l'impiego di metodi statistici: risultati di una sperimentazione*, Congresso Nazionale ATI, Taormina, 28. septembar- 1. oktobar 1993, knjiga 1, strana 125-136.

kgh