

Vesna Živković

STROKOVNA
NAVODILA
ZA NADZOR
OKOLJSKIH
DEJAVNIKOV
V MUZEJSKIH
ZBIRKAH

SKUPNOST MUZEJEV SLOVENIJE



Ljubljana, 2015

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Univerzitetna knjižnica Maribor

069.4
7.025.3/.4

ŽIVKOVIĆ, Vesna, 1975-

Strokovna navodila za nadzor okoljskih dejavnikov
v muzejskih zbirkah [Elektronski vir] / Vesna Živković
; [prevajalec Damir Tisaj ; fotografije Vesna Živković,
Veljko Džikić]. - El. knjiga. - Ljubljana : Skupnost
muzejev Slovenije, 2015

Prevod dela: Stručna uputstva za kontrolu uslova u
okruženju zbirke

ISBN 978-961-93907-1-9

COBISS.SI-ID 84608257

SKUPNOST MUZEJEV SLOVENIJE

mag. Vesna Živković

STROKOVNA NAVODILA ZA NADZOR OKOLJSKIH DEJAVNIKOV V MUZEJSKIH ZBIRKAH

Ljubljana, 2015

Urednica slovenske izdaje
Irena Porekar Kacafura

Prevajalec
Damir Tisaj

Jezikovni pregled
mag. Darja Gabrovšek Homšak

Prelom besedila
Dušan Pogačar

Založnik
Skupnost muzejev Slovenije, zanjo dr. Aleksandra Berberih-Slana

Za založnika
Sekcija za konserviranje in restavriranje pri SMS, zanjo mag. Jana Šubic Prislan

Ljubljana, 2015

Izid je omogočilo Ministrstvo za kulturo Republike Slovenije.

Publikacija je bila prevedena in objavljena z dovoljenjem Centralnega inštituta za konservacijo Beograd, izdanim dne 21. septembra 2015.

© Skupnost muzejev Slovenije. Vse pravice pridržane.

Naslov izvirnika
Vesna Živković, Stručna uputstva za kontrolu uslova u okruženju zbirki

Urednica srbske izdaje
prof. dr. Mila Popović - Živančević

Recenzenta
dr. Zoran Nikolić, znanstveni sodelavec, dipl. inž. elektrotehnike
Daniela Korolija, konservatorska svetnica

Fotografije
Vesna Živković
Veljko Džikić

Del fotografij in grafiknov je povzet po gradivu za tečaj o preventivni konservaciji, ki je bil izveden leta 2011 v Centralnem inštitutu za konservacijo Beograd v okviru projekta Podpora ustanovitvi Centralnega inštituta za konservacijo v Beogradu. Projekt je financirala Vlada Republike Italije (konvencija rep. št. 1388 z dne 29. 12. 2009) in organiziral Visoki inštitut za konservacijo in restavracijo iz Rima.

Založnik
Centralni inštitut za konservacijo Beograd, Terazije 26, 11000 Beograd, Srbija
Beograd, 2014

Slovenskemu prevodu na pot

Konservatorji-restavradorji premične kulturne dediščine se moramo nenehno izobraževati in spremljati novejša dognanja z našega strokovnega področja. Vsako leto izide precej strokovnih publikacij, ki jih izdajajo svetovna stanovska združenja ali posamezne strokovne organizacije s področja konserviranja in restavriranja. Glavnina teh publikacij ni prevedenih v slovenski jezik, saj je naše delovno področje tako specifično in pogosto ozko strokovno, da bi bil strošek prevajanja in izdajanja tovrstnih publikacij skoraj neupravičen. Vsekakor pa je smiselno, da imamo nekatera temeljna besedila tudi v slovenskem jeziku.

Sekcija za konservatorsko-restavratorsko dejavnost pri Skupnosti muzejev Slovenije že vrsto let skrbi tudi za izdajanje strokovnih publikacij v slovenskem jeziku. V letošnjem letu smo se odločili izdati prevod knjige kolegice mag. Vesne Živković iz Centralnega inštituta za konservacijo v Beogradu. Kolegica je v priročniku predstavila osnovne napotke za nadzor okoljskih dejavnikov v muzejskih zbirkah. Publikacija je namenjena predvsem konservatorjem-restavratorjem, a daje učinkovite napotke s področja preventivne konservacije tudi drugim strokovnjakom, ki se poklicno srečujejo s hranjenjem in razstavljanjem muzejskih predmetov. V publikaciji tako najdemo odgovore na morebitne dileme v zvezi z uravnavanjem in merjenjem mikroklimatskih razmer, izbiro pravilne osvetlitve muzejskih predmetov, preprečevanjem in spremljanjem onesnaženja z različnimi onesnaževalci, vplivom vseh naštetih dejavnikov na propadanje materialov, iz katerih so muzejski predmeti narejeni, in vrsto drugih napotkov, ki so nujno potrebni za kvalitetno vzdrževanje muzejskih predmetov in zbirk. Vsekakor upravičeno upamo, da bodo tudi napotki iz pričujočega priročnika pripomogli k primernejši hrambi in razstavljanju muzejskega gradiva v slovenskih muzejih in galerijah.

Še posebej iskreno se zahvaljujem avtorici mag. Vesni Živković za sprotno sodelovanje pri reševanju posameznih vprašanj in dilem, ki so se urednici zastavljali pri urejanju slovenskega besedila. Zahvala gre tudi Centralnemu inštitutu za konservacijo v Beogradu, ki je našo pobudo za prevod podprl in objavo dovolil.

Upam, da boste publikacijo z veseljem prebrali in izvedeli kaj novega ali pa zgolj obnovili in utrdili znanje, ki ga s področja preventivne konservacije že imate.

Irena Porekar Kacafura

V Mariboru, 15. novembra 2015

Uvod	6
Kratice	9
Okoljski dejavniki	10
Temperatura	13
Relativna vlažnost	16
Plinasti onesnaževalci in onesnaževalci v obliki delcev	22
Svetlobno sevanje	25
Kaj moramo upoštevati pri sprejemanju ukrepov za nadzor okoljskih dejavnikov	26
Ustrezne vrednosti relativne vlažnosti in temperature za hranjenje ter razstavljanje predmetov	27
Dovoljena koncentracija plinastih onesnaževalcev in onesnaževalcev v obliki delcev	32
Dovoljena doza osvetlitve v muzeju	33
Zakaj moramo spremljati razmere, v katerih so predmeti	35
Kako spremljamo klimatske razmere v prostoru, v katerem so predmeti	36

vsebina

Študija klime	38
Spremljanje koncentracije plinastih onesnaževalcev in onesnaževalcev v obliki delcev v muzejskih prostorih	40
Spremljanje jakosti osvetlitve predmeta	45
Strategije za regulacijo relativne vlažnosti in temperature	46
Strategije za regulacijo ravni onesnaženja	53
Strategije za regulacijo svetlobnega sevanja	55
Osnovni pojmi, ki jih moramo poznati pri kontroli in regulaciji okoljskih dejavnikov v muzeju	58
Mehanski in elektronski inštrumenti za merjenje temperature in relativne vlažnosti	63
Inštrumenti za merjenje svetlobnega sevanja	67
Vremenske motnje, ki vplivajo na muzejsko stavbo	68
Oprema, ki jo uporabljamo za regulacijo relativne vlažnosti in temperature	70
Vrste virov svetlobe	75
Literatura	78

Na kaj se nanašajo navodila za nadzor okoljskih dejavnikov

V teh navodilih govorimo o vplivu klimatskih dejavnikov (relativne vlažnosti in temperature), onesnaženja s plini in prašnimi (trdnimi) delci ter svetlobnega sevanja na muzejske predmete, o priporočilih v zvezi z nadzorom in regulacijo klime, o kontroli onesnaženosti in svetlobe v muzeju. Naš namen pri tem je, da bi dosegli želene razmere za muzejske predmete. Navodila so splošna, nadzor teh dejavnikov v posameznih primerih pa je pogojen s specifičnimi karakteristikami zbirk v muzeju in s samo muzejsko stavbo.

Zakaj so navodila potrebna

Relativna vlažnost, temperatura, svetlobno sevanje in onesnaženje so dejavniki, ki jih moramo upoštevati pri obravnavanju okolja, v katerem se predmeti nahajajo. Upoštevati moramo tudi spremembe, ki jih je treba uvesti, da bi preprečili ali ublažili njihov vpliv na propadanje predmetov. Vpliv teh štirih dejavnikov na propadanje predmetov v običajnih razmerah je počasen in težko opazen, vendar je kumulativen, tako da je za *življenjsko dobo* muzejskih predmetov zelo pomemben.

Komu so navodila namenjena

Navodila so namenjena vsem, ki so odgovorni za zaščito muzejskih predmetov, da bi razumeli, kako propadajo materiali in kako

uvod

moramo spremljati razmere v okolju, da bi lahko prepoznali dejavnike propadanja in zmanjšali njihov vpliv na zbirke. Vsak muzej mora uvesti redno spremljanje relativne vlažnosti, temperature, svetlobnega sevanja in ključnih onesnaževalcev, če ima predmete, ki so občutljivi na onesnaženje s plini in prašnimi delci.

Kako predmeti reagirajo na okoljske dejavnike

Način odziva predmetov na okoljske klimatske dejavnike, onesnaženje in svetlobno sevanje je odvisen od:

- njihove izdelave in lastnosti materialov, iz katerih so izdelani (organski, anorganski, predmeti, sestavljeni iz različnih materialov);
- naravnega staranja materialov, iz katerih so izdelani, in njihove kemijske stabilnosti;
- tega, kako so se uporabljali, preden so postali muzejski predmeti, in tega, kako se uporabljajo kot muzejski predmeti, namenjeni za raziskovanje in razstavljanje, pri čemer je rokovanje z njimi zelo pomembno;
- razmer, v katerih so bili prej in v katerih so zdaj;
- predhodnih sprememb materiala in konserviranja.

KRATICE

RH – relativna vlažnost (*relative humidity*), gl. *Osnovni pojmi*

T – temperatura, gl. *Osnovni pojmi*

lx – lux; enota za osvetljenost po mednarodnem sistemu enot SI. Določena je kot 1 lumen na kvadratni meter (lumen/m^2). En lux ustreza osvetljenosti ene sveče na razdalji 1 metra.

Mlx h – megalux ur; muzejska enota za izpostavljenost svetlobi ali za dozo svetlobnega sevanja. Enak je zmnožku osvetljenosti (lux) in časa (v urah), izraženega v milijonih lux ur. Uporaba te časovne enote po mednarodnem sistemu enot SI ni pravilna, vendar je običajna v literaturi o konserviranju.

lx h/y – lux ur na leto

lumen – lumen; enota za svetlobni tok (luč) po mednarodnem sistemu enot (SI)

lm/W – lumen na watt; enota za svetlobni učinek

$\mu\text{W/lm}$ – mikrowatt na lumen; muzejska enota za ultravijolično sevanje. Predstavlja razmerje med jakostjo ultravijoličnega sevanja (po mednarodnem sistemu enot SI $\mu\text{W/m}^2$) in osvetljenostjo ($\text{lx} = \text{lumen/m}^2$).

UV – ultravijolično sevanje, gl. *Osnovni pojmi*

W – watt; enota za moč po mednarodnem sistemu enot

LED – svetleča dioda (*light-emitting diode*); polprevodniška dioda, ki oddaja svetlobo, ko skozi njo teče električni tok

CRI – indeks barvne reprodukcije (*color rendering index*). Kvantitativna mera za sposobnost svetlobnega vira za natančno reproduciranje barv različnih predmetov v primerjavi z idealno ali naravno osvetlitvijo.

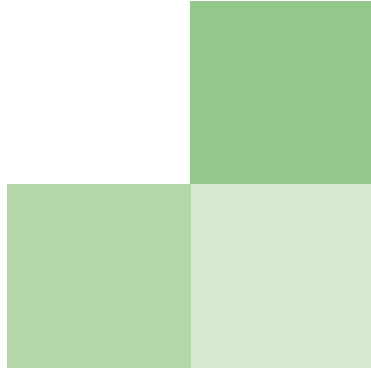
K – kelvin, merska enota za temperaturo. V besedilu se uporablja kot merska enota za korelirano temperaturo barve svetlobe.

$\mu\text{g/m}^3$ – mikrogramov na kubični meter; količina onesnaževalcev na enoto prostornine

PM2.5 – fini delci, katerih premer je manjši od $2,5 \mu\text{m}$

ppb – en del na milijardo (*parts-per-billion*), mera za volumnski delež onesnaževalca v ambientalnem zraku. Pomeni, da je prisotna 1 molekula onesnaževalca v 1 milijardi molekul zraka (1×10^{-9}).

ppm – en del na milijon (*parts-per-million*)



okoljski
dejavniki

Temperatura

(gl. Osnovni pojmi)

Različne vrste snovi različno reagirajo na delovanje temperature. Neustrezne vrednosti temperature vplivajo na hitrost propadanja predmetov, na njihove dimenzije in fizikalno stabilnost. Neustrezna temperatura vpliva tudi na biološko aktivnost v okolju, v katerem so zbirke.

Organske snovi se s časom starajo oziroma se fizikalno in kemijsko spreminjajo, hitrost staranja pa ni odvisna samo od specifičnih lastnosti teh snovi, ampak tudi od temperature. Povišana temperatura (v tem primeru običajna sobna temperatura) pospešuje staranje predmetov, ki so zaradi načina izdelave kisli. To so na primer predmeti, ki so nastali od sredine 19. stoletja naprej, še posebej papir, fotografski materiali, guma, številni plastični materiali, pa tudi elektronski nosilci podatkov, slike in zvoka ter predmeti iz organskih snovi, ki so postali kisli zaradi izpostavljenosti onesnaževalcem. Življenjska doba nestabilnih snovi, na primer magnetnih medijev, barvnih fotografij, nitrata celuloze, elastičnih polimerov, posameznih akrilnih barv, je pri sobni temperaturi 20 °C ocenjena na približno 30 let, izdelkov iz papirja slabše kakovosti (časopisi, knjige), acetatnih filmov, zgodnjih plastičnih materialov in naravnih materialov, ki so izpostavljeni onesnaževalcem, pa na približno 100 let.

Na proces propadanja teh snovi vplivata tudi neustrezna relativna vlažnost (proces kisle hidrolize) in kisik, vendar je temperatura zelo pomembna, ker spodbuja in pospešuje kemijske reakcije. Pri snoveh, ki so občutljive na delovanje neprimerne temperature, je kemijska reakcija, z njo pa tudi staranje in propadanje predmetov, dvakrat hitrejša, če se temperatura poviša za 5 °C.

Hranjenje občutljivih materialov pri sobni temperaturi ali izpostavljanje tej temperaturi povzroči bledenje, porumenitev, krhkost, pokanje in razpadanje predmetov. Kisli papir in nekateri filmi se začnejo drobiti in se obarvajo rjavo. Plastika in guma izgubljata elastičnost in postaneta lomljivi, kar pomeni, da se predmeti zmečajo in postanejo lepljivi. Dimenzije acetatnih filmov se spremenijo, magnetni mediji pa niso več uporabni. Zelo občutljivi so celulozno-nitratni filmi (izdelani v glavnem med letoma 1896 in 1952), ki postanejo praškasti ali lepljivi. Če so zelo poškodovani, se lahko vnamejo že pri temperaturi nad 38 °C.



Uničeni negativi iz acetata celuloze zaradi delovanja visoke temperature

Povišana temperatura povzroča tudi mehčanje in deformacijo nekaterih materialov. Kot primer lahko navedemo, da se različne komponente voska v mešanicah pri temperaturi nad 30 °C deformirajo in ločujejo, polivinilacetatno lepilo pa se zmežča in izgubi trdnost. Pri temperaturi nad 45 °C se vosek topi in nepovratno deformira, kar lahko privede do odstopanja barvane plasti na povoskani podlagi in do mehčanja voščenih barv.

Temperatura vpliva tudi na razvoj insektov, in sicer določa trajanje razvoja ličinke in življenjsko dobo insekta, vpliva pa tudi na razvoj mikroorganizmov. Metabolizem vsakega insekta najbolj deluje pri določeni temperaturi –

imenujemo jo optimalna temperatura za razvoj, ki je med 16 in 35 °C. Optimalna temperatura za razvoj najpogostejših vrst mikroorganizmov je od 25 do 35 °C pri konstantni vrednosti relativne vlažnosti. Obstajajo pa tudi mikroorganizmi, na primer psihrofili ali termofili, katerih razvoj je optimalen pri nizkih (10 °C) ali visokih temperaturah (več kot 40 °C).

Insekt iz reda *Thysanura* (srebrna ribica) se prehranjuje z ogljikovimi hidrati, ki so v organskih snoveh. V glavnem napadajo arhivsko gradivo (papir, knjige in njihove ovitke), prehranjujejo pa se tudi z materiali in tkaninami, ki vsebujejo škrob, kot so usnje, krzno, svila. Srebrna ribica se razvija in živi na vlažnih in toplih mestih, najraje ima temperaturo od 21 do 32 °C. Če je temperatura nižja od 10 °C, potrebuje 500 dni za razvoj do odraslega osebka, pri temperaturi več kot 24 °C pa se razvije že v 60 dneh.



Deformacija voska pri visokih temperaturah



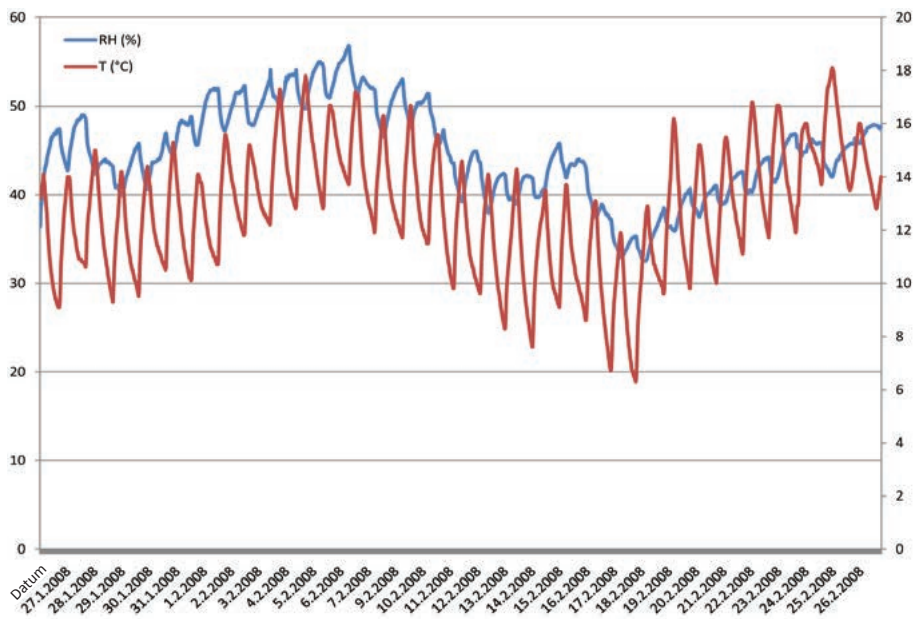
Nizka temperatura je lahko vzrok za fizikalne poškodbe, ker postanejo številni polimeri pri nižji temperaturi trši ali krhkejši, kar pri rokovanju s predmeti poveča tveganje za nastanek razpok ali za lomljenje. Akrilne barve so bolj občutljive na tresljaje in udarce pri temperaturi pod 5 °C kot pri sobni temperaturi.

Spremembe temperature, tj. segrevanje in ohlajanje, lahko povzročijo notranje napetosti in fizikalne poškodbe pri predmetih, izdelanih iz različnih materialov.

Spremembe temperature lahko povzročijo tudi krčenje in širjenje anorganskih materialov (kamen, fosili in minerali, kovine, keramika in steklo, drugo), tako da se predmeti lahko poškodujejo, če so izpostavljeni nihanjem temperature, ki so hitrejša od tistih, na katere lahko reagirajo. Temperaturne spremembe v zaprtih prostorih so manjše kot na prostem, tudi predmeti so večinoma manjši, tako da se anorganski materiali lahko širijo in krčijo brez večjih posledic.

Neustrezna temperatura ima zanemarljiv vpliv na krčenje in raztezanje organskih materialov, saj so veliko bolj občutljivi na spremembe relativne vlažnosti kot na spremembe temperature.

Temperatura sama povzroča nekatere spremembe samo pri specifičnih vrstah materialov. Večina materialov v mešanih zbirkah je na neprimerno temperaturo manj občutljiva ali sploh ne. Temperatura je samo eden izmed dejavnikov, ki vplivajo na razvoj insektov in mikroorganizmov, je pa ključni dejavnik pri spremembi relativne vlažnosti, ki lahko vpliva na veliko predmetov iz organskih in anorganskih materialov.



Hitro povišanje relativne vlažnosti v depozu zaradi znižanja temperature, če izklopimo ogrevanje.

Poudariti je treba, da temperatura vpliva na relativno vlažnost, tako da se pri predmetih iz higroskopsnih snovi¹ poveča tveganje za fizikalne in kemijske spremembe.

Relativna vlažnost (gl. Osnovni pojmi)

Organski materiali vsebujejo vodo. Pri spremembi relativne vlažnosti v okolju izločajo ali sprejemajo določeno količino vode, da bi dosegli tako relativno vlažnost, kot je v njihovem okolju. Izmenjava vlage med snovjo in okoljem je konstantna in ni povezana s procesom dihanja, ki ga razumemo kot vnos kisika in izločanje ogljikovega dioksida. Predmeti ne dihamo, ampak sprejemajo in izločajo vlagu. S spreminjanjem vsebnosti vlage v predmetu se spreminjajo tudi njegove dimenzije, kar pomeni, da predmet nabrekne ali se skrči.

Konstantno visoka relativna vlažnost nad 75 % lahko povzroči pojavljanje plesni, mehanske poškodbe na predmetih in korozijo kovin.

¹ Higroskopsni materiali vežejo vlagu, kar je posledica njihove sestave. Ko se zaradi delovanja vlage spremenijo fizikalne in/ali kemijske lastnosti materiala, govorimo o absorpciji, ko se iz molekul vode na površini predmeta ustvari film, pa govorimo o adsorpciji.

Pojavljanje mikroorganizmov na platnu in lesu ter propadanje papirja in lepila zaradi povišane relativne vlažnosti



Povišana relativna vlažnost je samo eden izmed osnovnih pogojev za razvoj mikroorganizmov, ki se na površini materialov pojavljajo v obliki puhastih tvorbo ali pik (črnih, belih ali rdečih, vijoličnih, rumenkastorjavih). Povzročijo lahko izgubo trdnosti, razbarvanje materialov, nastajanje lukenj in razpadanje predmetov.

Prah vedno vsebuje spore mikroorganizmov. Večina mikroorganizmov potrebuje za razvoj konstantno povišano relativno vlažnost, temperaturo med 20 in 40 °C, dovolj higroskopsko hranljivo podlago iz organskih snovi in mračen prostor brez prezračevanja. Primerno hranljiva podlaga so organski materiali, bogati z beljakovinami, škrobom ali sladkorjem, na primer usnje, strojeno usnje, pergament, obdelan ali umazan tekstil in papir.

Povišana relativna vlažnost v zelo kratkem času povzroči germinacijo spor, daljša obdobja konstantno povišane relativne vlažnosti pa razvoj plesni. Pri hranljivi organski podlagi v prostoru, v katerem ni kroženja zraka, pri temperaturi 25 °C in ob upoštevanju najobčutljivejših materialov velja naslednje:

- pri 65-odstotni relativni vlažnosti po treh letih na predmetih še ne opazimo pojava plesni,
- pri 75-odstotni relativni vlažnosti se plesen pojavi po dveh do treh mesecih,
- pri 80-odstotni relativni vlažnosti se plesen pojavi po dveh do petih dneh.

Relativna vlažnost nad 75 % povzroči tudi:

- deformacijo furnirja, kosti in slonovine zaradi absorpcije vode;
- kapljanje barv, na primer pri akvarelih;
- deformiranje ali zvijanje predmetov manjše prostornine, ki hitreje reagirajo na spremembe relativne vlažnosti; to so na primer risbe, grafike, tiskani dokumenti ali rokopisi;
- gubanje ali mehurjenje papirja v okvirju in na trdi podlagi;
- širjenje lepila zaradi absorpcije vlage, če pa je bilo lepilo uporabljeno za lepljenje papirja, se bo ta močnejše gubal;
- krčenje in širjenje slikarskega platna in tekstilnih predmetov; pri relativni vlažnosti do 80 % se platna skrčijo, nato pa razširijo, če se relativna vlažnost še naprej dviga; večina organskih snovi pri visoki relativni vlažnosti nabrekne, pri tekstilu pa ni tako; ko tekstilna vlakna vpijejo vlogo, nabreknejo, ker pa so vpletena in nabreknejo v širino, pride do kontrakcije in vlakna se zvijejo; visoka relativna vlažnost je vzrok za krčenje tekstila, pri slikah na platnu pa odstopajo plasti barve in podloga;
- fizikalno-kemijsko propadanje tekstila: bombaž, lan, volna in svila bledijo veliko hitreje, ker svetloba pri visoki relativni vlažnosti povzroča tvorbo kisline in izgubo mehanske trdnosti snovi; tekstil zlahka vpija vodo in se zaradi povečane teže lahko strga, še posebej če je obešen;
- spremembo lomnega količnika pri lakih, s katerimi so premazane barvne plasti, tako da postanejo motni;
- poveča se lepljivost želatinozne plasti fotografij in filmov, ki se lahko prilepijo na sosednjo površino.

Zaradi konstantno visoke relativne vlažnosti se povečuje plast molekul vode na površini kovinskih predmetov. To ob prisotnosti onesnaževalcev, kot so organske kisline in soli, povzroča hitro korozijo svinca, cinka, legur bizmuta, železa in bakra. Pri relativni vlažnosti med 20 in 75 % in glede na prisotnost spojin, ki nastanejo pri koroziji, začne sčasoma razpadati stabilna patina na najstarejših predmetih iz zlitine železa in bakra, predmeti pa naprej propadajo.

Aktivna korozija kovine



Nihanja relativne vlažnosti so vzrok za napetosti v predmetu. To pomeni, da se material širi, ko se relativna vlažnost zvišuje, in krči, ko se relativna vlažnost znižuje, kar povzroča trganje, zvijanje, pokanje ...

Napetosti v predmetu pri nihanju relativne vlažnosti so odvisne od:

- razlike med začetno in končno vrednostjo relativne vlažnosti;
- hitrosti, s katero se spreminja raven relativne vlažnosti;
- načina rezanja materiala (še posebej pri lesu);
- velikosti predmeta (manjši predmet se manj poškoduje, po daljšem času je na večjem predmetu večja tudi vsaka poškodba);
- tehnologije izdelave predmeta (ali je predmet uokvirjen, premazan, gre za predmet, sestavljen iz različnih materialov);
- največjega razpona relativne vlažnosti oziroma najnižje in najvišje vrednosti relativne vlažnosti, ki ji je bil predmet izpostavljen;

nihanja, manjša od te vrednosti, povzročajo počasne in minimalne poškodbe (govorimo o *preverjenih* nihanjih).

Predmeti za to, da se prilagodijo na nove razmere v okolju, potrebujejo določen čas. Običajno je potrebnih nekaj dni ali tednov, da se vzpostavi ravnotežje z relativno vlažnostjo v prostoru, zato imajo kratkotrajna hitra nihanja relativne vlažnosti na predmete zanemarljiv vpliv. To pomeni, da so mehanske spremembe v organskih materialih reverzibilne, in sicer pod pogojem, da se relativna vlažnost v kratkem času vrne na raven, na katero so predmeti navajeni.

Preverjena nihanja

Če je nihanje relativne vlažnosti v preteklosti povzročilo pokanje materiala, se razpoke zaradi novih nihanj zapirajo in odpirajo. Če pa nihanja pokanja materiala niso povzročila in tako v strukturi tudi ni bilo mehanskih sprememb, potem se pri enakih razmerah predmet ne bo porušil. Isti princip velja tudi za temperaturna nihanja. Princip *preverjenih nihanj* ne velja za konservirane predmete in se ne nanaša na pojavljanje plesni, korozijo ali kislo hidrolizo, katerih posledice so kumulativne.

Mnogi predmeti ne reagirajo na hitre spremembe relativne vlažnosti, počasnim spremembam pa se lahko prilagodijo. Velik lesen predmet, lakiran ali povoskan, nekaj dni ne reagira na spremembo relativne vlažnosti. Tanek panel brez premaza, ki ima veliko površino za svojo težo, reagira veliko hitreje. Zaradi sprememb relativne vlažnosti se lahko pojavijo krčenje, zvijanje

Drobne razpoke in luščenje barvne plasti na sliki zaradi nihanja relativne vlažnosti



in ločevanje pergamenta, hitro zvijanje tankih predmetov iz organskega materiala z veliko površino, na primer papirja, usnja, pergamenta, lubja, tankega lesa in slonovine, ali napetosti, ki povzročijo trganje uokvirjenega papirja, kartona ipd. V vsakem primeru velja: če se relativna vlažnost hitro zviša ali zniža in če se vzpostavijo popolnoma nove razmere, se predmeti poškodujejo.

Če imajo predmeti večjo prostornino, če so kompaktni ali nagnjeni k napetostim, pride zaradi sprememb relativne vlažnosti do pokanja in zvijanja, na primer do pokanja in odstopanja usnja in lesa na glasbenih inštrumentih, kosih lesenega pohištva z vstavljenimi ornamenti iz drugih materialov itd. Če je kip izdelan iz enega kosa lesa, se pokanje pojavi prej.

Ko gibki materiali, kot je na primer tekstil, nabreknejo ali se skrčijo, na vlaknih spremembe niso vidne, vendar se vlakna med seboj trejo. Če pri restavriranju vstavimo nov material, se originalno vlakno v stiku z novim materialom postopoma obrablja in na koncu strga.

Če gre za kompozitne predmete, torej za take, ki so sestavljeni iz več vrst materialov, ti materiali različno reagirajo na spremembe relativne vlažnosti. Med njimi lahko nastane napetost (slike na platnu, lesu kovini, itd.), s tem pa se na primer pojavi luščenje barvne plasti na slikah. Če en material kemijsko reagira, tudi drugi material doživi nekatere mehanske ali kemijske spremembe (kovina in kamen, kovina in tekstil).

Pri konstantno *nizkih vrednostih relativne vlažnosti* se lahko suši in poka lepilo na rastlinski ali živalski osnovi, kar ogroža predmete, sestavljene iz lepljenih delov, ali pride do kristalizacije soli. Porozni materiali² namreč absorbirajo vodo iz zemlje, ki lahko vsebuje soli. Predmet, ki je v suhem okolju, bo izpostavljen procesu kristalizacije soli, ta pa ustvarja pritisk na stene por, kar povzroča pokanje, drobljenje in trganje materiala.

Nestabilno steklo pomotni, če je relativna vlažnost višja kot 55 %, ker se v steklu raztapljajo posamezne komponente. Če je relativna vlažnost manjša kot 40 %, pa te komponente dehidrirajo, kar lahko povzroči mrežo drobnih razpok. Nestabilnost stekla je posledica načina izdelave. Če komponente v sestavi stekla niso v ustreznem razmerju, so stekleni predmeti občutljivi na relativno vlažnost.

2 Porozni materiali vsebujejo mrežo praznih prostorov, por, v katere prodira voda in v njih kroži zaradi delovanja kapilarnih sil; to je značilno za keramiko, kamen ... Hidrofilni materiali pa vodo privlačijo na površino, kar je značilno za steklo.

Kristalizacija soli na površini keramike in mozaika



Mrežasto razpokano steklo

Plinasti onesnaževalci in onesnaževalci v obliki delcev

Muzejski predmeti, še posebej tisti iz anorganskih materialov, so izpostavljeni propadanju zaradi kemijskih reakcij, kar je posledica aktivnosti onesnaževalcev. Delovanje onesnaževalcev je počasno in progresivno, vendar lahko daljša izpostavljenost predmetov onesnaženju povzroči resne poškodbe. Količina poškodb je odvisna od skupne koncentracije onesnaževalca, ki mu je bil predmet izpostavljen, hitrost propadanja pa je odvisna tudi od temperature, relativne vlažnosti, vpliva svetlobnega sevanja ter od ohranjenosti in stanja predmeta (konservacije oziroma restavracije predmeta). Vse reakcije so veliko hitrejšje, če je relativna vlažnost višja in če so bili predmeti v muzeju že prej izpostavljeni procesu staranja, zaradi česar niso več tako trdni, so korodirani ...

Plinasti onesnaževalci povzročajo propadanje kamna, korozijo kovin, eflorescenco fosilov in školjk, kar pomeni, da se anorganska snov zaradi kemijskih reakcij spreminja v soli in/ali okside. To lahko povzroči spremembo barv in oblike, povečanje prostornine, izgubo mehanske odpornosti in povečanje prepustnosti ali razgradljivosti snovi. Onesnaževalci povzročijo tudi večjo kislost papirja, razbarvanje pigmentov in krhkost tekstila.

Gre za spojine, ki so v zraku. Čist zrak vsebuje predvsem kisik, ogljikov dioksid in vodno paro (vlago), onesnažen zrak pa ozon, žveplov dioksid, dušikov dioksid in vodikov sulfid. Te spojine so lahko naravnega izvora ali posledica človekove dejavnosti. V kontekstu konserviranja muzejskih predmetov so onesnaževalci.

Vodikov sulfid lahko nastane zaradi dejavnosti zaposlenih in obiskovalcev v muzeju, aktivnosti oceanov, vulkanov, geotermalne aktivnosti, delovanja tovarn papirja in plinske industrije ali pa nastaja v močvirjih in zaradi vegetacije. V kratkem času povzroči temnenje srebra in bakra, povzroči pa tudi temnenje svinčevih belih pigmentov na slikah.

Dušikov dioksid (nastaja z izgorevanjem goriva, zaradi delovanja elektrarn in industrije) in dušikova kislina, ki nastaja z oksidacijo dušikovega dioksida, povzročata bledenje barv ter propadanje papirja in strojenega usnja.

Žveplov dioksid (rezultat izgorevanja fosilnih goriv, delovanja elektrarn in toplarn) se pri kemijski reakciji s kisikom in vodo spremeni v žveplovo kislino. Povzroča korozijo bakra, bledenje nekaterih pigmentov in krhkost strojenega usnja. Vodne kapljice, ki nastanejo pri kondenzaciji vlage na predmetih v onesnaženem ozračju, vsebujejo žveplovo kislino. Žveplova kislina reagira s kalcijevim karbonatom in tako nastane ogljikov dioksid. Netopen kalcijev karbonat se spremeni v kalcijev sulfat (mavec), bel prah, ki se raztaplja v vodi. Če je kamen zaščiten, nastane praškasta temna plast, v nasprotnem primeru pa se mavec spira. Tudi žveplov dioksid (tako kot dušikov dioksid) prispeva k povečanju kislosti papirja.

Ozon (v muzejskih stavbah nastaja zaradi uporabe klimatskih naprav, ionizatorjev in fotokopirnih naprav) cepi dvojne vezi med atomi ogljika ter vpliva na propadanje naravnih gum in na bledenje barv.

Ogljikov dioksid reagira z vodo in tvori kislino, ki reagira s

kamnom oziroma s kalcijevim in magnezijevim karbonatom (apnenec) ter pri tem tvori bikarbonate. Ti se v vodi raztapljajo in struktura kamna slabi. Ogljikov dioksid reagira tudi z nestabilnim steklom oziroma pospešuje proces propadanja, ki ga sproži povišana relativna vlažnost, vendar menimo, da njegov vpliv na muzejske zbirke ni pomemben, če je relativna vlažnost nižja od 75 %.

Kovine v vlažnem okolju reagirajo s kisikom iz zraka in tako se tvorijo kovinski oksidi. Pri oksidaciji se na površini tvori stabilna in neprepustna plast (stabilna patina). Če zaščitna plast počí, začne prepuščati zrak in druge onesnaževalce, tako da se propadanje predmeta nadaljuje vse do popolne mineralizacije kovine (predmet razpade, nastanejo kovinski oksidi in soli).

Med plinaste onesnaževalce moramo šteti tudi očetno kislino, ki jo v zaprtem prostoru izločajo različni izdelki, kot so barve, premazi, lepila, les in izdelki iz lesa ter posamezni proizvodi za čiščenje. Najbolj občutljiv za delovanje očetne kisline je svinec.

Formaldehid (izločajo ga oljne in alkidne barve, lepilo na osnovi sečninsko-formaldehidnih smol) in mravljična kislina, ki nastane z oksidacijo formaldehidov, lahko pospešita proces korozije kovin in proces eflorescence snovi na osnovi kalcijevega karbonata.

Prah na površini predmeta vpliva na njegov videz in je primerna hranljiva podlaga za razvoj mikroorganizmov in insektov.



Onesnaževalci v obliki delcev, kot so prah, saje, vlakna, soli itd., privedejo do deformacije predmetov oziroma vplivajo na njihov estetski videz. So primeren temelj za razvoj mikroorganizmov in insektov ter lahko povzročijo mehanske poškodbe na površini predmeta. Fini delci lahko povzročijo obrabo barve ali pa na površini predmetov tvorijo obloge, ki jih je težko odstraniti, še posebej s porozne površine. Plast higroskopskih, mastnih ali kovinskih delcev na površini predmeta lahko sproži ali pospeši tako propadanje kot tudi tvorbo škodljivih spojin, na primer kislin.

Svetlobno sevanje (gl. Osnovni pojmi)

Svetloba je pravzaprav vidni del spektra svetlobnega sevanja, ki zajema tudi ultravijolično in infrardeče sevanje. Čeprav ultravijoličnega in infrardečega sevanja ne potrebujemo, da bi predmet videli, je prisotno v vseh virih svetlobe in na predmetih lahko povzroča poškodbe.

Svetlobno sevanje povzroča molekularne spremembe oziroma fotokemične reakcije v nekaterih občutljivih materialih, povzroča krhkost in vpliva na njihove fizikalne in kemijske lastnosti. Vidno svetlobno sevanje povzroča bledenje črnila, barv in pigmentov, lahko celo temnenje posameznih pigmentov, ultravijolično sevanje pa povzroča porumenitev, krhkost in/ali razpadanje materialov, kar je odvisno od njihove občutljivosti. Pri tekstilu na primer svetlobno sevanje pospešuje procese oksidacije in vpliva na stabilnost strukture materialov. Če je bombažno platno sončni svetlobi izpostavljeno štiri mesece, izgubi 50 % svoje trdnosti. Papir, ki vsebuje lignin (na primer papir slabše kakovosti), zaradi vpliva svetlobnega sevanja porumeni in začne razpadati.

Infrardeče sevanje je vzrok za segrevanje osvetljene površine in (kot smo že omenili, ko smo

Stopnja in hitrost propadanja predmeta zaradi delovanja svetlobnega sevanja sta poleg občutljivosti predmeta in intenzivnosti svetlobe odvisni tudi od dolžine izpostavljenosti predmeta svetlobi ali od skupne izpostavljenosti predmeta oziroma doze svetlobnega sevanja na površini, ki je zmnožek osvetljenosti in časa izpostavljenosti.

To pomeni, da je predmet, ki je bil izpostavljen 10 ur pri 200 luxih, prav toliko poškodovan, kot če bi bil izpostavljen 40 ur pri 50 luxih (v obeh primerih gre za 2000 lux ur).



**Svetlobno sevanje
povzroča bledenje
barv.**



govorili o neprimerni temperaturi) povzroča širjenje in napetosti v materialu ter pospešuje kemijske procese. Če je bilo pri konserviranju-restavriranju uporabljeno termoplastično lepilo, lahko lokalizirano segrevanje povzroči njegovo mehčanje.

Kaj moramo upoštevati pri sprejemanju ukrepov za nadzor okoljskih dejavnikov

Na podlagi podatkov o zbirkah, razmer, v katerih se zbirke hranijo, podatkov o muzejski stavbi in drugih dejavnikov, ki lahko vplivajo na ohranjanje muzejskih predmetov, moramo izdelati celotno oceno tveganja.³ Ocena tveganja je potrebna, da lahko ugotovimo, ali obstajajo druga večja tveganja od neprimernih razmer v okolju, v katerem se nahajajo zbirke, in ali moramo uvesti na primer nadzor nad škodljivci, ustrezne procedure za rokovanje s predmeti, izpopolniti dokumentacijo in izboljšati zaščito pred požarom, poplavi ali drugimi katastrofalnimi tveganji.

Če ugotovimo, da so neprimerne razmere v okolju (temperatura, relativna vlažnost, svetlobno sevanje ali raven onesnaževalcev v prostoru) največja nevarnost za predmete, moramo določiti želene vrednosti relativne vlažnosti in temperature, dovoljena nihanja in sezonske spremembe, kontrolne mehanizme za onesnaženje in dovoljeno raven sevanja. Pri tem moramo upoštevati obstoječe mehanizme propadanja predmetov in njihovo občutljivost, kar ugotovimo že prej pri ocenjevanju tveganja.

³ Ocena tveganja je metodološki pristop, ki se uporablja na različnih področjih (industrija, medicina, ekologija, kmetijstvo itd.) pri sprejemanju odločitev in določanju prioritet za obravnavanje oziroma za zmanjševanje ali odpravljanje tveganj. Na področju konserviranja kulturne dediščine je bila razvita metodologija ocene tveganja, ki zajema prepoznavanje in analizo tveganja za muzejske zbirke, da bi omogočili sprejemanje racionalnih in objektivnih odločitev pri upravljanju tveganj za kulturno dediščino.

Ustrezne vrednosti relativne vlažnosti in temperature za hranjenje ter razstavljanje predmetov

Vrednosti relativne vlažnosti in temperature, ki se najpogosteje omenjajo kot ustrezne za hranjenje in razstavljanje muzejskih predmetov ($50 \pm 5 \%$ ali $55 \pm 5 \%$ za relativno vlažnost in $20 \pm 2^\circ\text{C}$ za temperaturo), temeljijo na raziskavah novih materialov, ki jih uporabljata industrija in vojska, na podlagi klimatskih podatkov v posamezni državi za določene materiale in na predpostavkah o mogočih poškodbah na predmetih v nekontroliranih razmerah. Prilagojene so funkcionalnim karakteristikam klimatskega sistema, kar pomeni, da je v okolju, v katerem so predmeti, treba vzdrževati prisilne razmere v okviru zelo ozkega razpona vrednosti.

Mednarodnih standardov

za sprejemljive vrednosti relativne vlažnosti in temperature v muzejih ni, v literaturi je na voljo samo vrsta priporočil in smernic. Prav tako ni idealnih univerzalnih priporočil za hranjenje in razstavljanje predmetov, a zagotoviti moramo take klimatske razmere, ki bodo prilagojene potrebam zbirk in določene glede na različne omejitve in možnosti.

Izhajamo iz predpostavke, da se bo predmet poškodoval, če ne bodo dosežene *idealne* razmere. Te norme najpogosteje niso uporabne za različne muzejske predmete, ki so preživeli proces staranja in že doživeli različne spremembe zaradi delovanja okoljskih dejavnikov, vendar pa poenostavljajo odločanje arhitektom, inženirjem, kustosom, konservatorjem itd. *Majhne* razpone vrednosti relativne vlažnosti in temperature težko vzdržujemo in pojavi se potreba po vzdrževanju prisilnih razmer v okolju, v katerem se predmeti nahajajo.

Pri določanju ustreznih razponov relativne vlažnosti in temperature ter načina nadzora nad njimi moramo v muzeju upoštevati:

- lastnosti in posebnosti predmetov glede na občutljivost materialov na nihanje relativne vlažnosti, njihovo kemijsko stabilnost in njihov značaj; zbirke se lahko prej prilagodijo povprečni letni relativni vlažnosti kot fiksni vrednosti 50% , temperaturo v prostorih, v katerih hranimo zbirke, pa moramo prilagoditi

potrebam predmetov, ne udobju ljudi;

- razmere, v katerih so bili predmeti, ter največji razpon relativne vlažnosti in temperature, ki so mu bili izpostavljeni;
- značilnosti in vlogo muzejskih prostorov pri stabilizaciji klimatskih dejavnikov (gl. *Vremenske motnje, ki vplivajo na muzejsko stavbo*);
- okolje, v katerem deluje muzej, oziroma lokalne in regionalne klimatske dejavnike, vključno s sezonskimi in dnevnimi nihanjem.

Vzdrževanje klimatskih razmer na podlagi netočnih ali nepopolnih informacij lahko privede do poškodb na predmetih, poleg tega pa zahteva nenehna vlaganja.

Temperatura

Spremembe temperature nimajo večjega vpliva na večino predmetov v muzejih, razen na nekaj posebej občutljivih materialov. Temperatura v razstavnem prostoru je običajno prilagojena obiskovalcem (19 ± 1 °C pozimi in 24 ± 1 °C poleti), v depojih pa je priporočljivo vzdrževati čim nižjo temperaturo, tako, ki še ne vpliva bistveno na relativno vlažnost, zlasti če gre za materiale, ki so zelo občutljivi na povišane temperature; tako zagotovimo kemijsko stabilnost predmetov in preprečimo okužbe. Splošno načelo v zvezi s primerno temperaturo za hranjenje arhivskega gradiva predvideva, da se življenjska doba predmetov podaljša za dvakrat za vsakih 5 °C znižane temperature.

Posamezni materiali postanejo zaradi nizkih temperatur občutljivi na udarce in lomljivi.

Materiale s slabo kemijsko stabilnostjo, kot so dokumenti na zelo kislem papirju, slabo obdelane fotografije, večina barvnih

fotografij, acetatni in nekateri nitratni filmi in negativi, magnetni trakovi in diski, lahko hranimo pri -20 °C ali tudi pri 10 °C. Tudi če temperaturo 10 °C dosežemo samo v zimski sezoni z izklopom ogrevanja, je to za to vrsto materiala pomembna prednost, če s tem preprečimo pojav vlage.

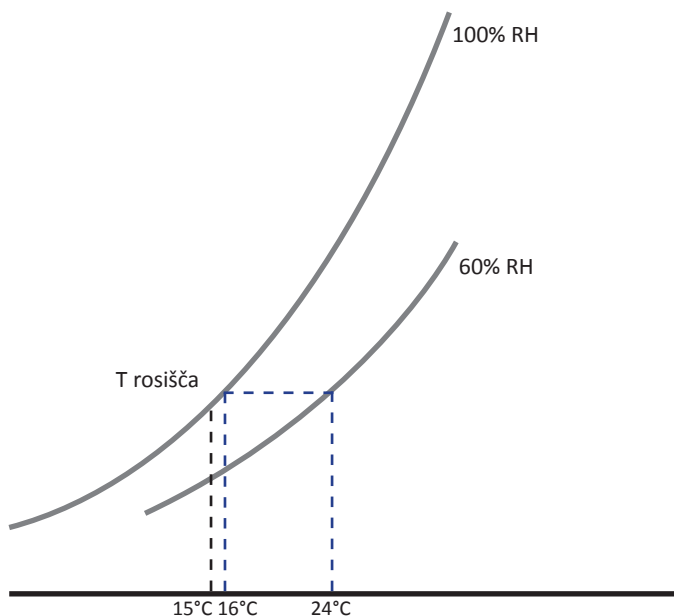


Hranjenje pri 10 °C lahko tudi predmetom iz gume in plastike dvakrat podaljša življenjsko dobo.

Če so v zbirki predmeti iz akrilnih snovi ali če so bile akrilne barve uporabljene na slikah, temperatura naj ne bi bila nižja od 5 °C. To je mejna vrednost, pri kateri postanejo akrilati lomljivi.

Če je temperatura v depoju veliko nižja od temperature v razstavnih in delovnih prostorih, moramo pri prenašanju predmetov paziti, saj se na površini lahko pojavi kondenzacija, če so temperaturne razlike prevelike. Spremljati moramo tudi, kako takšno znižanje temperature vpliva na relativno vlažnost, in se zaradi tega izogibati hitrim spremembam temperature.

Vsekakor moramo biti v večini muzejev pozorni na neprimerno temperaturo samo pri arhivskih zbirkah. Pazljivo rokovanje s predmeti zmanjša tveganje za poškodbe materialov, ki zaradi nizkih temperatur postanejo občutljivi in lomljivi.



Če na primer predmet iz depoja, kjer je temperatura 15 °C, prenesemo v konservatorsko delavnico, kjer je temperatura 24 °C, relativna vlažnost pa 60 %, se bo na predmetu pojavil kondenzat, ker je temperatura rosišča v prostoru 16 °C (gl. Osnovni pojmi: *Temperatura rosišča*).

Visoka kemijska stabilnost: življenjska doba 300–1000 let pri 20 °C in 50-odstotni relativni vlažnosti	Srednja kemijska stabilnost: življenjska doba 100–300 let pri 20 °C in 50-odstotni relativni vlažnosti	Nizka kemijska stabilnost: življenjska doba 30–100 let pri 20 °C in 50-odstotni relativni vlažnosti
pergament, velur papir, izdelan iz krp, ki ni kisel zaradi onesnaženja ali lepljenja alkalni papir les večina črno-belih (srebro- želatinskih) fotografij ali mikrofilmov (na papirju, steklu ali poliestru) večina negativov na steklu barve na lesu, platnu ali stabilnem papirju	rahlo kisli papirji (večina papirjev in kartonov) večina črno-belih (srebro- želatinskih) negativov in filmov na acetatu in nitratu albuminske fotografije nekateri negativni na steklu nekateri barvne fotografije na papirju in filmu dobro narejeni optični digitalni mediji (CD)	zelo kisel papir (npr. kisel časopis, papir in usnje, ki so bili v preteklosti izpostavljeni kislemu onesnaženju) fotografije slabe kakovosti izdelave večina barvnih fotografij nekateri acetatni in celulozno- nitrati filmi (tudi negativni) magnetni mediji (npr. video, digitalni trakovi, diski) optični digitalni mediji slabše kakovosti (CD) (trohnenje diskov)

Kemijska stabilnost materialov

Povzeto po: Michalski, S., 2000, *Guidelines for humidity and temperature in Canadian Archives*.

Relativna vlažnost

Stabilno relativno vlažnost moramo vzdrževati v ustreznem razponu, pri tem pa moramo upoštevati, da nihanja relativne vlažnosti v razponu od 30 do 60 % na leto za večino predmetov v mešanih zbirkah niso nevarna v smislu mehanskih poškodb. Nekateri predmeti so bolj občutljivi na nihanja relativne vlažnosti, vendar pa iz ekonomskih razlogov in zaradi zaščite okolja ni upravičeno vzdrževanje natančno kontroliranih prisilnih razmer, če niso nujno potrebne.

Pozorni moramo biti na kritične vrednosti relativne vlažnosti. Da bi preprečili hiter razvoj plesni, moramo vzdrževati relativno vlažnost pod 75 %, pod 60 % pa, da bi preprečili začetek razvoja mikroorganizmov. Izločiti moramo kovine, zlasti predmete, ki vsebujejo kloride, in jih hraniti v razmerah, v katerih relativna vlažnost ni višja od 30 % oziroma 45 % za polirane kovine.

V zvezi z arhivskim gradivom moramo vedeti, da lahko suhe razmere (30–40 % relativne vlažnosti) podaljšajo njegovo življenjsko dobo. Za večino fotografskega materiala bi morala biti ustrezna relativna vlažnost od 30 do 40 %.

Poškodovane materiale ali materiale, ki so posebej občutljivi na nihanje relativne vlažnosti, kot so napeti listi papirja z veliko

površino, leseno pohištvo z intarzijami in polikromirane skulpture, moramo hraniti v čim bolj stabilnih razmerah. To pomeni, da se moramo izogibati hitrim in velikim nihanjem relativne vlažnosti.

Pri kompozitnih materialih moramo upoštevati tudi način izdelave: če je izdelava predmeta zahtevna, morajo biti nihanja relativne vlažnosti omejena, kar pomeni, da morajo biti razmere stabilnejše.

Če relativna vlažnost med letom niha od 25 do 75 %, temperatura pa je redko nad 30 °C, običajno pa pod 25 °C, obstaja veliko tveganje za mehanske poškodbe zelo občutljivih predmetov, zmerno tveganje za večino slik, fotografij, nekaterih predmetov in knjig ter minimalno tveganje za številne predmete in večino knjig. Če so obdobja s temperaturo 30 °C dolgotrajna, bodo kemijsko nestabilni predmeti propadli čez nekaj desetletij ali manj. Pozimi se lahko življenjska doba predmetov za dvakrat podaljša.

Če dosežemo, da se kratkoročna nihanja relativne vlažnosti gibljejo v razponu ± 10 %, temperature v razponu ± 5 °C,⁴ sezonska nihanja relativne vlažnosti v razponu ± 10 %, da se temperature zvišajo do 10 °C, vendar ne čez 30 °C, znižajo pa toliko, kolikor je potrebno, da še nadziramo relativno vlažnost, je tveganje za mehanske poškodbe za zelo občutljive predmete zmerno, za večino slik in fotografij, za nekatere predmete, knjige pa minimalno. Za veliko predmetov in večino knjig ni večjega tveganja. Če so obdobja s temperaturo 30 °C dolgotrajna, bodo kemijsko nestabilni predmeti propadli čez nekaj desetletij ali manj. Pozimi se lahko življenjska doba predmetov za dvakrat podaljša.

Pri tem moramo upoštevati, da se tveganje za zelo občutljive predmete nanaša samo na predmete, ki so bili prestavljeni iz prostorov z boljšimi razmerami ali so bili konservirani-restavrirani.

Tveganje za mehanske poškodbe zelo občutljivih predmetov je majhno, za večino predmetov in slik pa ga sploh ni, če imamo klimatski sistem. Pri tem razumemo, da so kratkoročna nihanja relativne vlažnosti v razponu ± 5 % in temperature v razponu ± 2 °C, sezonska nihanja relativne vlažnosti pa v razponu ± 10 % RH in temperature v razponu ± 5 °C oziroma -10 °C ali da so kratkoročna nihanja relativne vlažnosti v razponu ± 5 % in temperature v razponu ± 2 °C ali da ni sezonskih nihanj relativne vlažnosti in so sezonska nihanja temperature v razponu ± 5 °C. Posamezne kovine in minerali lahko propadejo, če je relativna vlažnost višja od kritične vrednosti. Kemijsko nestabilni predmeti bodo propadli čez nekaj desetletij.

**Veliko tveganje pomeni, da bodo poškodbe vidne, vrednost predmeta pa bistveno manjša. Majhno tveganje pomeni, da bodo poškodbe zmerne in vidne pri natančnem pregledu, minimalno tveganje pa pomeni, da pričakujemo majhne ali neznatne poškodbe, ki s prostim očesom niso vidne, in sicer na nekaj predmetih v nekaj stoletjih.*

4 Nihanja relativne vlažnosti in temperature se določijo glede na 50% relativne vlažnosti ali glede na zgodovinsko povprečje relativne vlažnosti. Vrednost temperature je določena v razponu od 15° do 25°C (ASHRAE 2007).

Dovoljena koncentracija plinastih onesnaževalcev in onesnaževalcev v obliki delcev

Pri določitvi najvišje dovoljene koncentracije za vsakega izmed ključnih plinastih onesnaževalcev izhajamo iz doze (zmnožka koncentracije onesnaževalca in časa, v katerem je bil predmet izpostavljen delovanju onesnaženja), ki na predmetu lahko povzroči komaj opazno poškodbo (*lowest observed adverse effect dose* – *LOAED*). Če izhajamo iz doze onesnaževalca, lahko po načelu recipročnosti izračunamo čas izpostavljenosti predmetov, po katerem se bodo pojavile minimalne poškodbe, ali obdobje (v letih), v katerem so lahko predmeti izpostavljeni določeni koncentraciji onesnaževalca z minimalnim tveganjem za poškodbe. Tako se za maksimalno dovoljeno dozo, določeno za obdobje 100 let, pričakuje največja stopnja ohranitve predmetov oziroma se pričakuje, da se poškodbe pri večini predmetov ne bodo pojavile, če bodo izpostavljeni dovoljeni maksimalni dozi onesnaževalca v prihodnjih 100 letih. Pri tem domnevamo, da je relativna vlažnost manjša od 60 % ali da vzdržujemo klimatske razmere, na katere so predmeti navajeni.

Povzeto po:
Tétreault, J., 2003,
Airborne Pollutants
in Museums,
Galleries, and
Archives: 33

Ta princip uporabljamo za večino materialov, ki so srednje občutljivi za delovanje onesnaževalcev, ne pa tudi za posebno občutljive snovi, kot so svinec, srebro, vulkanizirana naravna guma

Ključni onesnaževalci zraka	Maksimalna povprečna koncentracija $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ppb)		
	1 leto	10 let	100 let
ocetna kislina	1000 (400)	100	10
vodikov sulfid	1 (0,71)	0,1	0,01
dušikov dioksid	10 (5,2)	1	0,1
ozon	10 (5,0)	1	0,1
žveplov dioksid	10 (3,8)	1	0,1
fini delci (PM2.5)	10	1	0,1

itd., ki zahtevajo posebne klimatske razmere in način shranjevanja. Ta princip ni uporaben niti za žveplov dioksid, na delovanje katerega je najbolj občutljiv papir.

Navedeni koncept zahteva spremljanje koncentracije onesnaževalcev. Če to ni mogoče, je bilo okvirno ocenjeno, da lahko raven onesnaževalcev v prostoru z naravnim prezračevanjem, kar je najpogostejše, privede do komaj opaznih poškodb občutljivih predmetov v 1 do 10 letih. V prostoru, v katerem je klimatizacija centralna, mora biti za dolgoročno ohranitev predmetov raven onesnaževalcev nižja od $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za pline in nižja od $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za fine prašne delce.

D o v o l j e n a d o z a o s v e t l i t v e v m u z e j u

Stopnja poškodb na predmetu zaradi delovanja svetlobnega sevanja je odvisna od intenzivnosti osvetlitve in časa izpostavljenosti, zato moramo določiti skupno dozo svetlobnega sevanja, ki ji bodo izpostavljeni predmeti in ki bo zanje predstavljala še sprejemljivo tveganje. Glede na jakost osvetlitve omejimo dolžino izpostavljenosti, ki je odvisna od občutljivosti materiala, in sicer določimo priporočeni limit za določeno kategorijo materialov.

*Mednarodna komisija za razsvetljavo*⁵ določa štiri osnovne kategorije materialov, iz katerih so izdelani muzejski predmeti:

- materiali, ki ne reagirajo na vpliv vidne svetlobe, kot so večina kovin, kamen, večina vrst stekla, keramika, emajl;
- materiali, ki v manjši meri reagirajo na vpliv vidne svetlobe, kot so olja in tempere na platnu, freske, nebarvan les in usnje, kosti, slonovina, lak, nekatere vrste plastike;
- materiali, ki so občutljivi na vpliv svetlobe, na primer tekstil, akvareli, pasteli, tapiserije, grafike in risbe, rokopisi, miniature, tapete, gvaši, barvano usnje in večina predmetov iz naravoslovnih zbirk, vključno z botaničnimi vzorci, krznom in peresi;
- materiali, ki so zelo občutljivi na vpliv svetlobe, kot so svila, časopis, posebej neobstoje barve.

⁵ *Commission internationale de l'éclairage – The International Commission on Illumination (CIE)* iz Avstrije je organizacija, ki je bila ustanovljena za mednarodno sodelovanje in izmenjavo informacij med državami članicami o vsem, kar se nanaša na osvetlitev.

Inštitut za kulturno dediščino z Nizozemske⁶ je v to kategorizacijo uvrstil tudi skupino materialov, ki niso bili nikoli izpostavljeni svetlobnemu sevanju.

Zelo občutljivi materiali so lahko pri 50 luxih izpostavljeni 300 ur (15.000 lux ur na leto), občutljivi materiali so lahko pri 50 luxih izpostavljeni 3000 ur (150.000 lux ur na leto), materiali, ki so manj občutljivi, pa so lahko pri 200 luxih izpostavljeni 3000 ur (600.000 lux ur na leto). Materiali, ki ne reagirajo na vpliv svetlobnega sevanja, so lahko izpostavljeni neomejen čas. Poudariti moramo, da se lahko te vrednosti štejejo za veljavna priporočila samo, če odpravimo ultravijolično in infrardeče sevanje. Zahteve za zaščito predmetov moramo uskladiti tudi s potrebo, da so primerno razstavljeni in dostopni obiskovalcem oziroma da so optimalno vidni. Upoštevati moramo, da starejši obiskovalci potrebujejo več svetlobe, da lahko vidijo vse barve in podrobnosti, ter da na nekaterih predmetih slabo vidimo podrobnosti in barve, zaradi česar jih moramo izpostaviti močnejši osvetlitvi (za krajši čas). Kot primer naj navedemo, da je lahko predmet izdelan iz občutljivih materialov, pri 150 luxih izpostavljen 1000 ur (150.000 lux ur na leto).

Osnovne kategorije materialov, iz katerih so izdelani muzejski predmeti		Sprejemljiva raven osvetljenosti	Sprejemljivo trajanje osvetljenosti
materiali, ki ne reagirajo na vpliv vidne svetlobe	večina kovin, kamen, večina stekla, keramika, emajl, večina mineralov	brez omejitev	
materiali, ki v manjši meri reagirajo na vpliv vidne svetlobe	olja in tempere na platnu, freske, nebarvan les in usnje, kosti, slonovina, lak, nekatere plastike	200 lx	600.000 lx h na leto
materiali, ki so občutljivi za vpliv svetlobe	kostumi, akvareli, pasteli, tapiserije, grafike in risbe, rokopisi, miniature, tapete, gvaši, barvano usnje in večina predmetov iz naravoslovnih zbirk, vključno z botaničnimi vzorci, krzno in peresa	50 lx	150.000 lx h na leto
materiali, ki so zelo občutljivi za vpliv svetlobe	svila, časopis, posebej neobstoje barve	50 lx	15.000 lx h na leto
materiali, ki nikoli niso bili izpostavljeni svetlobnemu sevanju		gl. dalje	

Priporočena jakost in trajanje osvetlitve za različne kategorije materialov

⁶ Institut Collectie Netherlands, ICN, zdaj Netherlands Cultural Heritage Agency, RCE.

Vedno moramo imeti v mislih, da lahko vsaka izpostavljenost občutljivih predmetov svetlobi, tudi če nadziramo jakost in dolžino osvetlitve glede na občutljivost materiala, povzroči kumulativne poškodbe. Zato je bistveno vprašanje, koliko lux ur je lahko predmet izpostavljen svetlobnemu sevanju, preden se pojavi nesprejemljiva poškodba. Zato je bila uvedena enota *komaj opazno bledenje* (*just noticeable fade* – JNF); enota predstavlja razliko v barvi, ki jo lahko opazi človeško oko.⁷

Navedeno pomeni: če je predmet izdelan iz materiala, ki ima 1 JNF v desetih letih, po 100 letih ne bo več primeren za razstavljanje, po 300 letih pa bo popolnoma uničen.

Kategorije modre skale*	1	2	3	4	5	6	7	8
svetloba z močnim ultravijoličnim sevanjem	0,22	0,6	1,5	3,5	8	20	50	120
svetloba z eliminiranim ultravijoličnim sevanjem	0,3	1	3	10	30	100	300	1100
kategorija materialov, občutljivih na svetlobo	zelo občutljivi			občutljivi			manj občutljivi	

Izpostavljenost v 10^6 lx h (Mlx h), ki bo povzročila 1 JNF (CIE 2004)

* Za razlago termina gl. str. 45.

V literaturi je navedena sprejemljiva mejna vrednost za ultravijolično sevanje v muzejskem okolju $75\mu\text{W/lm}$. To ustreza ultravijoličnemu sevanju navadne žarnice. Taka žarnica pri omejeni intenzivnosti svetlobe niti po več desetletjih ne povzroča poškodb, tipičnih za ultravijolično sevanje. Ker ultravijolično sevanje ne vpliva na vidnost predmetov, moramo izbrati vir osvetlitve z odstranjenim ultravijoličnim spektrom ali pa ga filtrirati.

Zakaj moramo spremljati razmere, v katerih so predmeti

Redno spremljanje razmer v prostoru, v katerem so predmeti, in analiza dobljenih podatkov sta nujna, da bi ugotovili:

- ali so razmere, v katerih se nahaja predmet, ustrezni ter ali stavba in postavljena oprema izpolnjujeta želene pogoje;

⁷ En JNF ustreza 1,6 CIELAB-enotam, ki jih je določila Mednarodna komisija za razsvetljavo (Boersma, F. et al., 2007: 59)

- kateri so možni vzroki za propadanje zbirk;
- katere so možne rešitve za spremembo razmer;
- katere so želene in ustrezne specifikacije za primerne razmere za hranjenje predmetov;
- ali bi uvedba sprememb pri postavitvi v nov prostor ali namestitvev opreme za urejanje razmer predstavljali izboljšanje ali bi še bolj ogrozili predmet glede na to, da spremembe v okolju, v katerem je predmet, lahko porušijo ravnotežje, na katerega je predmet navajen, ter s tem sprožijo proces propadanja.

Redno preverjanje stanja zbirk je nujno za preprečitev večjih poškodb, ker so procesi propadanja, ki se pojavijo zaradi trenutnih sprememb v prostoru ali posojanja predmetov, hitri in progresivni. Spremljati moramo tudi, ali se kažejo znaki kemičnih poškodb, na primer rjav, lomljiv papir ali fotografije z znaki propadanja, da bi ugotovili, ali moramo vzpostaviti specifične klimatske razmere za občutljive skupine predmetov. Poleg tega moramo preveriti, ali so vidne stare sledi mehanskih poškodb, da bi lahko razumeli razmere, ki so jim bili predmeti že izpostavljeni, in da bi določili sprejemljive razpone relativne vlažnosti.

Če želimo na predmetih spremljati spremembe zaradi neprimerne relativne vlažnosti, moramo redno preverjati zbirke in predmete fotografirati. S pomočjo fotografij lahko primerjamo trenutno stanje s stanjem, ugotovljenim pri prejšnjem pregledu.

K a k o s p r e m l j a m o k l i m a t s k e r a z m e r e v p r o s t o r u , v k a t e r e m s o p r e d m e t i

Temperaturo in relativno vlažnost v muzeju spremljamo z mehanskimi in elektronskimi inštrumenti, kot so termohigrometri, termohigrografi in datalogerji, ki jih uporabljamo za občasno ali kontinuirano merjenje (gl. *Mehanski in elektronski inštrumenti za merjenje temperature, relativne vlažnosti in svetlobnega sevanja*).

Izbira ustreznega inštrumenta za spremljanje klimatskih razmer je odvisna od podatkov, ki jih moramo zbrati, od zahtevane natančnosti, velikosti prostora in časa oziroma od tega, ali potrebujemo podatke v razstavnem prostoru za postavitev specifičnih vrst predmetov in materialov ali pa na primer podatke o razmerah hranjenja v depozitu.

Termohigrograf na las, postavljen v depoju

Za spremljanje razmer v razstavnem prostoru za občasne razstave je dovolj, če postavimo inštrument za občasno merjenje, še posebej če potrebujemo informacije o spremembah relativne vlažnosti zaradi spremembe temperature. Če pa moramo zbrati podatke o tem, kako razmere v prostoru vplivajo na razmere v razstavni vitrini, ali podatke o razmerah v depoju, moramo predvideti kontinuirano merjenje. Pri izbiri inštrumenta moramo upoštevati izvedljivost pogostega shranjevanja podatkov ali zamenjave papirja v napravi.

Inštrument za spremljanje klimatskih razmer v muzeju postavimo tako, da stoji v bližini predmeta in da je lahko dostopen, vendar ne sme biti na doseg obiskovalcev, na njem pa morata biti obvestilo o tem, zakaj ga uporabljamo, ter opozorilo, da se ga ne smemo dotikati. Inštrument mora biti stabilno postavljen v prostoru, v katerem so najbolj očitna nihanja relativne vlažnosti in temperature, odmaknjen od neželenih mikroklimatskih dejavnikov (kar pomeni, da ne sme biti postavljen blizu oken, vrat, na tleh, v kotu ...) in zaščiten pred prahom in neposrednim soncem, če ni postavljen v stavbi.

Relativno vlažnost moramo meriti na različnih mestih v prostoru, da lahko opazimo možne cone neprimerne relativne vlažnosti. Ne smemo pozabiti, da se relativna vlažnost čez leto spreminja in da je neustrezna vlažnost pogosto kombinacija določene relativne vlažnosti in določenega vremenskega obdobja, na primer pri razvoju plesni.

Če sumimo, da je prostor vlažen, lahko to na enostaven način potrdimo s soljo. Sol se namreč raztaplja pri 75-odstotni relativni vlažnosti. Nekaj zrn soli na čistem lepilnem traku se po nekaj urah v vlažnem prostoru spremeni v kapljice. Tudi če se relativna vlažnost zniža pod 75 % in se sol posuši, bomo opazili, da so kristali izgubili obliko.

Pri merjenju temperature moramo upoštevati, da lahko na to vplivajo temperatura človeškega telesa, kroženje zraka, površine sten, ki so toplejše ali hladnejše od zraka v prostoru, ogrevanje, cevi z vodo in osvetlitev, tako da je temperatura na različnih mestih v prostoru lahko različna. V prostoru merimo povprečno temperaturo zraka, zato mora biti termometer vedno postavljen na najbolj stabilnem in najbolj karakterističnem mestu.

Vsi inštrumenti morajo biti redno vzdrževani in umerjeni.

Š t u d i j a k l i m e

Da bi lahko izdelali načrt spremljanja in nadzora klimatskih dejavnikov v muzejskem stavbi, moramo izdelati študijo klime. Študija klime zajema določitev števila klimatskih con v stavbi in kontinuirano spremljanje klimatskih razmer v določenih conah.

Vsaka cona zajema prostore, v katerih se temperatura in relativna vlažnost spreminjata na enak način. Trajanje študije je odvisno od opreme, ki je na razpolago, izvesti pa bi jo bilo treba v nestabilnem delu leta, na primer spomladi ali jeseni. Umerjene inštrumente moramo imeti nekaj dni v istem prostoru, da ugotovimo, ali kažejo identične vrednosti.

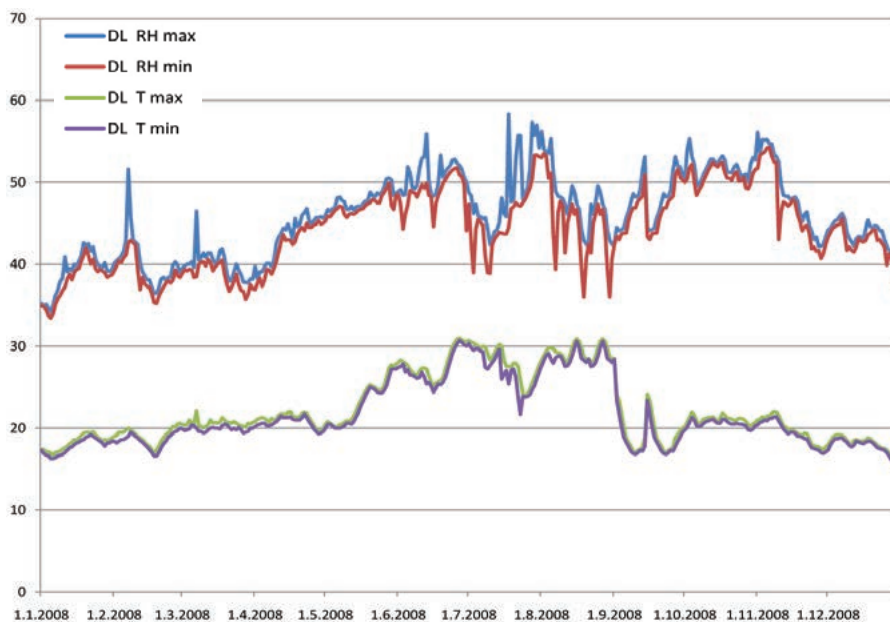
Inštrumente, ki kažejo izenačene vrednosti, postavimo v prostore s podobnimi razmerami. Pri tem upoštevamo način izpostavljenosti zunanjim vplivom, ali imajo prostori okna in kakšen je položaj teh prostorov v stavbi. Nato dva ali tri dni spremljamo spremembe. Če so razmere v vseh prostorih enake ali podobne, gre za eno klimatsko cono, če pa se dobljeni podatki bistveno razlikujejo, gre za več klimatskih con. Tako lahko sukcesivno združimo prostore, ki pripadajo isti klimatski coni. Na enak način lahko preverimo omare, police, vitrine ...

Ne smemo pozabiti, da v muzeju ne opazujemo povprečja dobljenih vrednosti, ampak ekstremne vrednosti relativne vlažnosti in temperature, ki na predmetih lahko povzročijo spremembe.

Pri zbiranju podatkov moramo zabeležiti:

- ugotovljene napake v zapisu,
- umerjanje,
- vzrok klimatskih motenj,
- bistvene klimatske spremembe (ogrevanje, čiščenje),
- ekstremne vrednosti ali situacije.

Pri obdelavi podatkov opazujemo maksimalne in minimalne vrednosti temperature in relativne vlažnosti celo leto in tako določimo klimatsko cono (na primer cona z nihanji relativne vlažnosti med x in y % ali cona z nizko relativno vlažnostjo).



Graf nihanja relativne vlažnosti in temperature. Prostor spada v klimatsko cono z nihanjem relativne vlažnosti. Sezonske spremembe so postopne in z ogrevanjem se relativna vlažnost v posameznih primerih zniža tudi za 30 %, kar je tipično za stavbe s centralnim ogrevanjem. Vrednost relativne vlažnosti poleti ni višja od 60 %. Kratkoročna nihanja se gibljejo v razponu od 0,2 do 13,8 % (relativna vlažnost) in od 0,1–4,1 °C (temperatura).

Enoletno spremljanje klimatskih dejavnikov v muzeju moramo organizirati tako, da postavimo instrumente v vsako določeno cono in primerjamo podatke z zunanjimi podatki ter spremljamo

maksimalne in minimalne vrednosti. Tako dobimo naslednje podatke:

- koliko na razmere v stavbi vpliva zunanja klima oziroma ali je toplotna izolacija stavbe ustrezna ali jo moramo izboljšati;
- kakšne so značilnosti vsake cone in kateri prostori ustrezajo zaščiti zbirk;
- katere cone so v prostoru, določenem za postavitve zbirk, najbolj stabilne;
- kakšne so obstoječe razmere v vitrinah in ali moramo izboljšati vitrine za zagotovitev stabilnejše klime;
- kakšen je vpliv ogrevanja na klimatske razmere v prostoru.

Naprava za spremljanje zunanje relativne vlažnosti in temperature



Zaželeno je tudi spremljanje zunanjih klimatskih razmer, da bi jih lahko primerjali z notranjimi podatki in ugotovili vzroke spremembe v muzejskih prostorih. Upoštevat moramo, da se podatki z meteoroloških postaj ne nanašajo na specifično okolje muzeja in da gre za drug vir podatkov v drugačnem formatu, z različnimi intervali merjenja, zato moramo zunanje klimatske razmere spremljati enako kot razmere v muzeju.

Tako lahko izdelamo predlog za stabiliziranje, vlaženje ali razvlaževanje prostora v celem letu in se na podlagi tega odločimo, kateri čas je najprimernejši za občasne razstave, da preprečimo vplih hitrih sprememb razmer za predmete.

Spremljanje koncentracije plinastih onesnaževalcev in onesnaževalcev v obliki delcev v muzejskih prostorih

Merjenje in spremljanje koncentracije onesnaževalcev v muzejih še vedno ni običajno, prav tako ni enotne metode ali testa, ki bi ga lahko uporabili, da bi dobili sliko splošnega stanja, kontinuirano spremljanje pa je predrago in zahteva veliko časa.

Prav zato moramo pred začetkom vzorčenja in analiz identificirati zunanje vire onesnaževalcev, dejavnosti v muzejskih prostorih, embalažo in materiale, ki jih uporabljamo pri hranjenju in ki so možen vir onesnaževalcev, preveriti tesnost objekta in ugotoviti, katere poškodbe na predmetih so nastale zaradi delovanja onesnaževalcev. Poznavanje možnih virov onesnaževalcev, posledic, ki jih imajo za materiale, sprejemljivih koncentracij onesnaževalcev in podatkov o koncentraciji

zunanjih onesnaževalcev, ki jih je mogoče dobiti na Inštitutu za varovanje zdravja RS in Agenciji RS za okolje in na podlagi katerih lahko izdelamo okvirno oceno koncentracije onesnaževalcev v muzejskem okolju, je pomembno za določitev ravni zaščite, ki jo predmetom nudijo muzejska stavba, način postavitve in razstavljanja ter obstoječe procedure o prisotnih onesnaževalcih v prostoru, in za določitev želenih mejnih vrednosti onesnaževalcev za ohranitev predmetov. Ti podatki najpogosteje zadostujejo, da rešimo določeni problem brez nadaljnega vlaganja v dolgoročno in obsežno spremljanje onesnaževalcev v muzeju.

Ko gre za muzejski

prostor, moramo

vedeti, da konstrukcijski materiali v stavbi in materiali, uporabljeni pri notranji opremi, absorbirajo onesnaženje, zato so koncentracije onesnaževalcev v prostoru veliko nižje kot zunaj. V dobro zatesnjenem prostoru je koncentracija plinastih onesnaževalcev 10-krat manjša, v vitrini pa 100-krat manjša od zunanjih vrednosti.

Če zaradi sprememb na predmetih sumimo, da je v muzeju večja koncentracija plinastih onesnaževalcev in onesnaževalcev v obliki delcev, moramo preveriti raven onesnaženja v prostoru tako, da vzamemo vzorce. Ti so osnova za pridobitev podatkov o koncentraciji specifičnih onesnaževalcev (Drägerjeve cevke, cevke za vzorčenje z difuzijo itd.) ali za polkvantitativne ocene enega ali več onesnaževalcev (kovinski kuponi, test pospešene korozije – *Oddyjev test*, spremljanje nalaganja delcev v realnem času itd.). Tehnike spremljanja, ki dajejo polkvantitativne ocene, uporabljamo tudi za specifične namene. *A-D trakove* na primer uporabljamo za določanje kritične vsebnosti očetne kisline v filmih iz acetata celuloze. Tehnike spremljanja onesnaževalcev se razlikujejo tudi po času jemanja vzorcev, ki lahko traja od nekaj sekund, če gre za neposredno odčitavanje (aktivno vzorčenje), do nekaj tednov (pasivno vzorčenje). Uporabljamo tudi dozimetre, ti pa merijo skupno dozo onesnaževalcev, ki jo snov prejme v določenem času. Merimo lahko tudi hitrost izmenjave zraka v stavbi in prostorih.

Merjenje trenutne koncentracije ogljikovega dioksida in prahu



Muzej uporabnih umetnosti v Beogradu

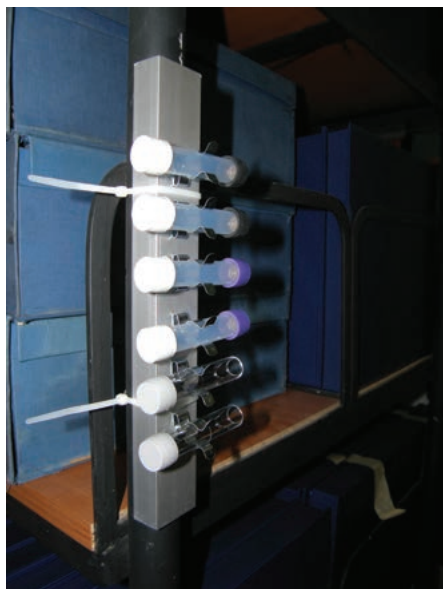


S tečaja o preventivni konservaciji, Beograd 2011, v organizaciji ISCR iz Rima (obe fotografiji).

Izbira tehnike vzorčenja je odvisna od tega, kateri so najverjetnejši ali najbolj kritični onesnaževalci, prisotni v muzejskih prostorih, in od parametrov, kot so pričakovana koncentracija onesnaževalcev, število lokacij za merjenje in spremljanje ter časa, ki ga imamo na voljo.

Za izdelavo preliminarne ocene o povišanih koncentracijah onesnaževalcev moramo uporabiti aktivno vzorčenje ali kratkoročno pasivno vzorčenje na različnih mestih in v razmerah, ko pričakujemo povečano koncentracijo onesnaženja. Koncentracije onesnaževalcev v prostoru se spreminjajo glede na vremenske razmere, del dneva ali število obiskovalcev. Koncentracija onesnaževalcev se poveča v času prometnih konic (zjutraj in popoldne), v sončnih dneh pa se popoldne poveča koncentracija ozona. Večje število obiskovalcev pomeni tudi večjo količino vlage, vodikovega sulfida in amonijaka. Pri merjenju koncentracije onesnaževalcev v vitrini, škatli, omari itd. moramo upoštevati, da šele nekaj ur ali celo nekaj dni (odvisno od materialov in prostornine vitrine, škatle ali omare) po odprtju dosežemo 90 % običajne ravni koncentracije onesnaževalcev.

Ker je koncentracija dušikovega dioksida v primerjavi s koncentracijo žveplovega dioksida višja, ker snovi težijo k absorpciji dušikovega dioksida in ker spremljanje nalaganja finih delcev s premerom, manjšim od $2,5 \mu\text{m}$ (PM_{2.5}), omogoča, da dobimo podatke o učinkovitosti stavbe kot zapore in podatke o sistemu za filtracijo, če obstaja, moramo najprej zbrati podatke o teh dveh onesnaževalcih. Merimo tudi koncentracijo osetne kisline



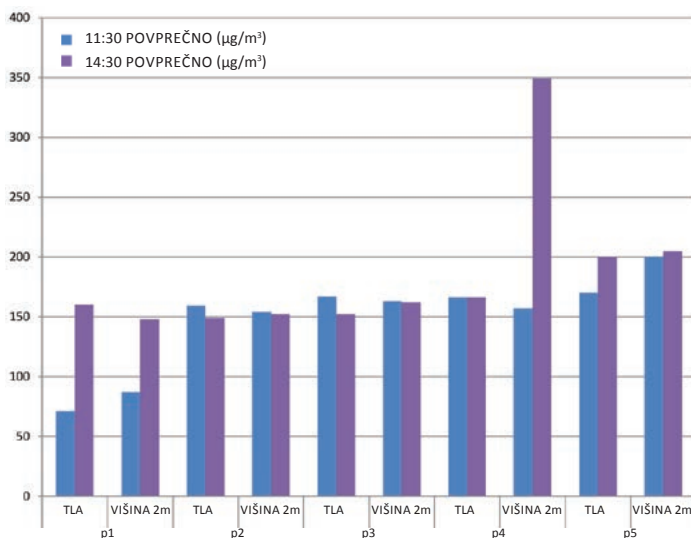
Cevke za vzorčenje z difuzijo. Merjenje koncentracije ozona, dušikovega dioksida in žveplovega dioksida.

v pohištvu in embalaži. Koncentracijo ozona lahko spremljamo, če imamo podatke o obdobjih povečane zunanje koncentracije ozona, koncentracije vodikovega sulfida pa spremljamo, če ima muzej dragoceno zbirko kovin.

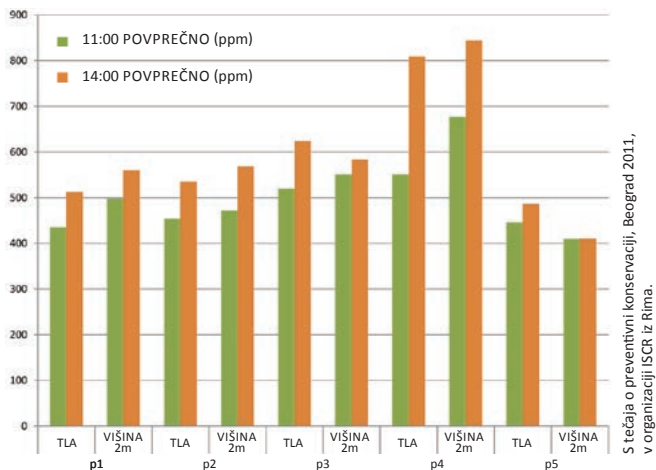
Zbiramo podatke o dnevni nihanji ključnih onesnaževalcev in njihove povprečne koncentracije med tednom, in sicer zunaj in znotraj stavbe. Na podlagi podatkov o dnevni nihanji dobimo informacije o učinkovitosti klimatskega sistema in o vplivu velikega števila obiskovalcev, na podlagi tedenskega ali mesečnega povprečja koncentracije onesnaževalcev pa dobimo informacije o splošnih razmerah in karakteristikah stavbe.

Če je v vitrini, škatli ali omari predmet, občutljiv na delovanje očetne kisline, moramo meriti tudi koncentracijo tega onesnaževalca. Če so v zaprtem prostoru materiali, ki so zelo občutljivi na onesnaževalce, kot sta acetat celuloze in celulozni nitrat, predmeti z občutljivimi barvami, svinec, naravna guma, srebro in poliuretanski magnetni trakovi, predmeti, ki so občutljivi na vlago, predmeti, ki se težko čistijo, predmeti, ki vsebujejo soli, ali predmeti posebnega pomena, moramo spremljati relevantne onesnaževalce oziroma njihove povprečne koncentracije in dolgoročne trende.

Rezultati merjenja koncentracij prahu in ogljikovega dioksida. Merjenja so bila opravljena na različnih mestih v muzeju, na dveh višinah in dvakrat na dan.



S tečaja o preventivni konservaciji, Beograd 2011, v organizaciji ISCR iz Rima.



Posebna merjenja se nanašajo na specifične situacije (kot je nastanek nekaterih neobičajnih poškodb ali visoke koncentracije onesnaževalcev) in na potrebo po identifikaciji specifičnega vira onesnaževalca ali kvantificiranja sprememb v okoljskih dejavnikih.

Na predmetih v muzejskih prostorih se bodo poškodbe, ki jih povzroča delovanje zunanjih onesnaževalcev, pojavile po nekaj letih ali celo desetletjih. Poškodbe lahko nastanejo tudi po nekaj mesecih, in sicer zaradi visokih koncentracij onesnaževalcev, ki jih izločajo določeni izdelki (na primer čistila), zaradi prisotnosti že prej nastalih oblog in soli, če so materiali, ki izločajo onesnaževalce, v neprezračeni sobi in če uporabimo nove proizvode.

Upoštevati moramo, da trenutne razmere v okolju niso nujno enake razmeram v času, ko je poškodba nastala, tako da ni mogoče vedno določiti koncentracije onesnaževalcev, ki so poškodbo povzročili. Toda na podlagi prejšnje aktivnosti je mogoče ugotoviti vir onesnaženja, proizvode, ki so bili uporabljeni, in druge predmete, ki so bili v bližini poškodovanega predmeta.

Pri večini metod merjenja in spremljanja koncentracij onesnaževalcev pošljemo podatke na analizo v ustrezno ustanovo.

Pri merjenju in spremljanju koncentracije onesnaževalcev moramo vedno zabeležiti tudi podatke o relativni vlažnosti, saj vlaga vpliva na hitrost propadanja predmeta, ki ga povzroči delovanje onesnaževalcev.

**Merjenje
intenzivnosti
svetlobnega
sevanja**

S tečaja o preventivni konservaciji, Beograd 2011,
v organizaciji ISCR iz Rima.

**Spremljanje jakosti
osvetlitve predmeta**

Intenzivnost vidnega svetlobnega sevanja merimo s luksmetrom, ki ga postavimo vzporedno s površino predmeta. Da bi dobili podatke o maksimalni in minimalni jakosti svetlobe v prostoru, moramo izmeriti intenzivnost osvetlitve na različnih mestih. Za preverjanje vrednosti ultravijoličnega sevanja uporabljamo UV-meter.

Ker se ti instrumenti uporabljajo za merjenje trenutne jakosti svetlobnega oziroma ultravijoličnega sevanja, moramo za določitev skupne doze svetlobnega ali ultravijoličnega sevanja oziroma jakosti sevanja v določenem obdobju uporabiti tako imenovane dozimetre oziroma datalogerje, ki kontinuirano beležijo svetlobno sevanje. Enako lahko uporabimo tudi papirnate dozimetre *Light Check*,⁸ ki so prekriti s premazom, občutljivim na delovanje svetlobe. Premaz postopoma spreminja barvo, ko absorbira svetlobo, količino absorbirane svetlobe pa lahko določimo na podlagi primerjave z barvno lestvico.

Preizkus svetlobne obstojnosti (Light Check) je zasnovan na principu *bledenja modre skale (blue wool test)*. To je karton, na katerega je zalepljenih osem trakov pobarvane volnene tkanine. Barve so razporejene tako, da vsaka barva zbledi dvakrat hitreje

⁸ LightCheck® je bil uveden kot nov sistem za spremljanje svetlobnega sevanja. Omogoča oceno količine svetlobe, ki jo je predmet *prejel* na primer v času razstave. Rezultat je projekt, pri katerem so sodelovali strokovnjaki s področja konserviranja in iz industrije pod pokroviteljstvom Evropske komisije. <http://www.archivalaids.co.uk/docs/archival-lightcheck.pdf>.



Light Check pred izpostavitvijo, ki je trajala 3 mesece, in po njej

kot pri prejšnjem vzorcu. Prvi vzorec je najbolj občutljiv na delovanje svetlobe, zadnji pa je najmanj. Bledenje pobarvanega materiala je usklajeno z lestvico od 1 do 8 po standardu ISO 105. *Modro skalo* postavimo v vitrino tako, da je en del vzorca pokrit. Na koncu primerjamo raven, do katere je material zbledel, in tako lahko ugotovimo, kako osvetlitev vpliva na različne materiale.

Strategije za regulacijo relativne vlažnosti in temperature

Za sprejetje odločitve o načinu izboljšanja klimatskih razmer v muzejski stavbi moramo na podlagi rezultatov študije klime obravnavati naslednje:

- ali je zbirke mogoče preseliti iz prostora z neustreznimi klimatskimi razmerami oziroma ali je posebej občutljive predmete mogoče preseliti v najstabilnejšo klimatsko cono v stavbi;
- ali razmere lahko izboljšamo s popravili na stavbi in popravilom stavbe same, kar ima lahko dolgoročne prednosti;
- ali lahko s pasivnimi sredstvi reguliramo mikroklimatske dejavnike (na primer v vitrini, delu prostora ali v prostoru);
- ali mikroklimatske dejavnike lahko reguliramo v prostoru z lokaliziranimi aktivnimi sredstvi (na primer z razvlažilniki ali vlažilniki gl. *Oprema, ki jo uporabljamo za regulacijo relativne vlažnosti in temperature*);
- ali ustrezne klimatske razmere lahko ustvarimo s postavitvijo centralnega klimatskega sistema.

V osnovnih ukrepih za nadzor klimatskih razmer v projektu je predvideno, da ima stavba zanesljivo streho, stene s hidro- in termoizolacijo, dobro zatesnjena vrata in okna oziroma dvojno zasteklitev oken. Poleg tega moramo v prostoru najti vire vlage ter zmanjšati njihov vpliv ali jih odpraviti (gl. *Vremenske motnje, ki vplivajo na muzejsko stavbo*).

Da bi zmanjšali vdor vlage v prostore, moramo uvesti redna popravila strehe in koledar vzdrževanja. Vanj uvrstimo: čiščenje strehe, odstranjevanje listja iz žlebov, preverjanje in popravilo odvodov in cevi, barvanje kovinske strehe z ustrezno barvo, odstranjevanje mahu s sten in zatesnitev oken.

Problem kapilarne vlage lahko ublažimo ali rešimo z vgraditvijo izolacije, z odstranjevanjem vegetacije s sten, barvanjem sten s paroprepustnimi barvami ter s postavitvijo dvojnih sten z notranje strani, odvodov na ustreznih mestih in prezračevalnih komor pod tlemi, da omogočimo izhlapevanje vode na nivoju tal. Kroženje zraka na površini stene lahko izboljšamo tudi tako, da vzporedno s stenami, vendar odmaknjene od njih, postavimo samostojne panele ali da na višini enega metra vgradimo plošče iz kanelirane plastike.

Če se na stenah pojavlja kondenzacija, moramo raven vlage v prostoru omejiti z zmanjšanjem števila obiskovalcev in uporabo ustrezne opreme. S sten moramo odstraniti materiale, ki so slabi prevodniki toplote, in zagotoviti naravno prezračevanje.

Za stabilizacijo relativne vlažnosti v prostoru moramo omejiti stik med vlažnim in suhim zrakom, saj relativna vlažnost niha predvsem zaradi stika dveh zračnih mas z različno temperaturo, relativno vlažnostjo ali različnim pritiskom. To pomeni, da moramo omejiti gibanje vlage (kot primer lahko navedemo, da vlažen ali suh zrak prodira v stavbo skozi fasado, ki je izpostavljena vetru, zaradi povišanega zunanega pritiska, kar pomeni, da moramo na takšnih fasadah zmanjšati število odprtín).

Razstavni prostor moramo razdeliti na manjše enote, ki jih lahko lažje nadziramo. Najobčutljivejše in najdragocenejše predmete postavimo v enostavne vitrine, v depoju pa za pakiranje predmetov, ki so občutljivi na neprimerno relativno vlažnost, uporabimo vreče, kuverte ali škatle iz polietilena ali poliestra.

Da bi ublažili toplotni učinek sončnega sevanja, je poleg izolacije strehe s stekleno volno, pluto, ekspanziram

polietilenom ali poliuretanom ali izdelavo zračnega žepa in izolacijo sten mogoče izdelati tudi dvojno streho s prezračevanjem med dvema plastema, v okolici muzeja lahko predvidimo ozelenitev površin, na stavbi uporabimo reflektivne premaze. Z uporabo bele barve zmanjšamo absorpcijo sevanja. Preprečiti moramo tudi direktno sončno sevanje na materiale, ki so občutljivi na neprimerno temperaturo.

Izkoristiti moramo hladne zime, kar pomeni, da depojev ne ogrevamo. Tako upočasnimo kemijske procese propadanja organskih materialov in v teh prostorih vzpostavimo ravnotežje s povišano poletno temperaturo.

V kletnih prostorih, kjer je relativna vlažnost povišana, moramo redno čistiti predmete iz organskih materialov, poskrbeti za prezračevanje prostorov ter izboljšati kroženje zraka.

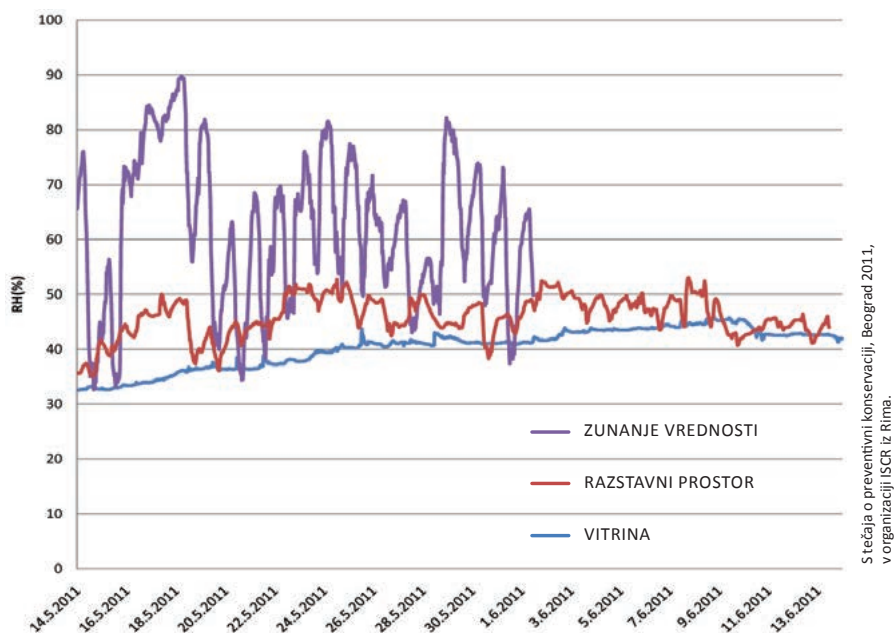
Za izolacijo oziroma za blažitev nihanj relativne vlažnosti in temperature moramo, če je le mogoče, uporabljati naravne materiale, kot so les, tekstil, mavec (gl. Osnovni pojmi: *Regulatorji vlažnosti*).

Dodatni ukrepi so še: uporaba humidistatov za nadzor ogrevanja in vzpostavitev ustreznih mikroklimatskih razmer (gl. Osnovni pojmi: *Mikroklima* in *Oprema, ki jo uporabljamo za regulacijo relativne vlažnosti in temperature*), uporaba zatesnjenih vitrin, embalaže in pohoštva za posebno občutljive in pomembne predmete, uporaba pasivnih sredstev za regulacijo relativne vlažnosti ali vzpostavitev *hladnega* skladišča za kemijsko nestabilne materiale. *Hladno* skladišče je lahko (odvisno od števila predmetov) hladilnik ali preurejen prostor oziroma del stavbe.

Mikroklimatske razmere lahko zagotovimo z uporabo dobro zatesnjenih vitrin, če so izolirane pred vplivom toplote (ogrevanja, direktne sončne svetlobe, umetne osvetlitve). Tesnost vitrine lahko zagotovimo z dobrim naleganjem vseh njenih delov, namestitvijo

**Uporaba
silica gela v
vitrini**





Dobro zatesnjena vitrina ublaži nihanja relativne vlažnosti

traku za zatesnitev oken, silikonskih trakov in trakov iz pene, pa tudi z navadnim samolepilnim trakom. Če je treba, lahko v vitrini predvidimo ločen prostor za snov, ki jo uporabljamo za stabilizacijo relativne vlažnosti (na primer silica gel).⁹

Osvetlitev moramo postaviti zunaj vitrine v posebnem delu, ker svetlobno telo neposredno dviga temperaturo in vpliva na raven relativne vlažnosti v vitrini.¹⁰

Vitrina mora biti stabilna in izdelana iz kemijsko stabilnih materialov. Če predvidevamo, da les, iz katerega je vitrina izdelana, oddaja škodljive hlape, ga moramo premazati z ustreznim premazom (gl. *Strokovna navodila za postavitev predmetov*). Če v vitrini iz lesa, ki ima boljšo sposobnost uravnavanja vlažnosti kot kovina in steklo (gl. Osnovni pojmi: *Regulatorji vlažnosti*), ni kovinskih predmetov, je ne premažemo.

⁹ Na ta način omejimo odpiranje tistega dela vitrine, v katerem je postavljen predmet, preprečimo motnje klimatskih razmer pri odpiranju in predmeta ni treba prestavljati, da bi prišli do drugih delov vitrine. Tudi če je v prostoru klimatska naprava, priporočamo, da so občutljivi predmeti v vitrini, da ne bi bili izpostavljeni hitrim spremembam klimatskih razmer, če bi se naprava pokvarila.

¹⁰ Fluorescenčne cevi so lahko postavljene v vitrini, če je predstikalna naprava, ki oddaja toploto, postavljena zunaj.

Če za doseg mikroklimatskih razmer uporabljamo snovi, ki uravnavajo vlažnost (gl. Osnovni pojmi: *Regulatorji vlažnosti*) in če so postavljene v vitrino ali v embalažo, v kateri je predmet, morajo hitro nevtralizirati klimatske šoke. Če reagirajo prepočasi, bo na klimatsko spremembo prvi reagiral predmet sam.

Kot snovi za uravnavanje vlažnosti uporabljamo materiale, ki so trdni, biološko in kemijsko stabilni, ki imajo sposobnost absorpcije v vseh razponih relativne vlažnosti in ki lahko vežejo veliko količino vlage pri relativni vlažnosti 100 %. Takšne sposobnosti imajo anorganske snovi, kot je umetna glina v obliki granul ali silica v obliki zrn (silica gel in sintetične gline). Te snovi so bile že prej obdelane tako, da lahko dosežemo določeno želeno vrednost relativne vlažnosti. Obdelane snovi za uravnavanje vlažnosti vsebujejo določeno količino vlage, ki ustreza želeni relativni vlažnosti.

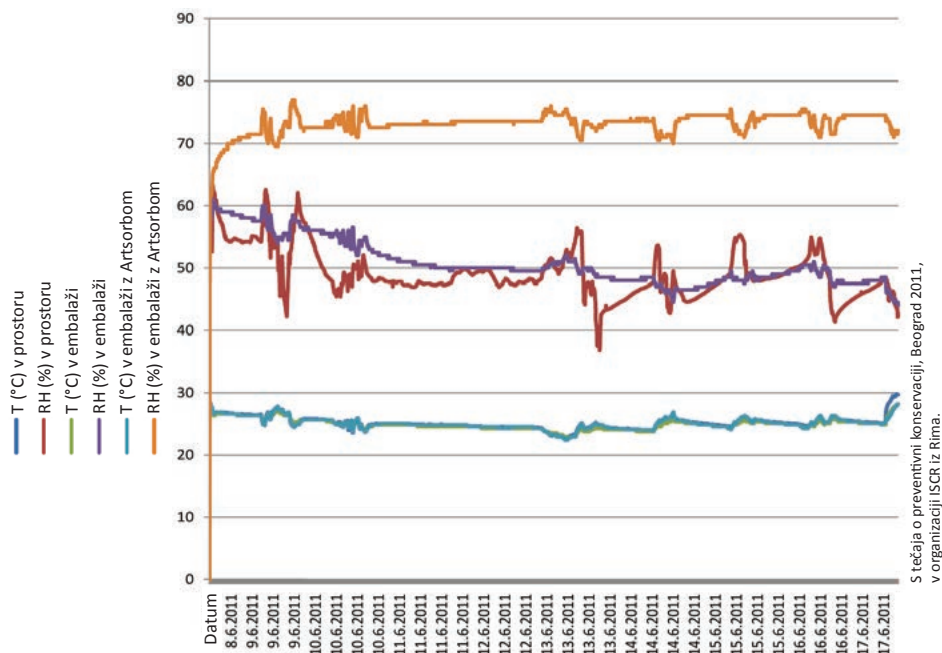
Snovi za uravnavanje vlažnosti mora biti dovolj, njena količina pa je odvisna od:

- razlike med relativno vlažnostjo v zaprtem prostoru (vitrini, škatli) in ambientalno relativno vlažnostjo (čim večja je razlika, tem bolj bo notranja relativna vlažnost težila k temu, da bi se izenačila z zunanjo, zato bomo potrebovali več snovi za uravnavanje vlažnosti);
- prostornine, ki jo reguliramo s snovjo za uravnavanje vlažnosti (čim večja je prostornina, tem več snovi bomo potrebovali; količina potrebne snovi je sorazmerna z višino vitrine, površina snovi pa mora imeti maksimalen stik z zrakom, kar pomeni, da plast snovi za uravnavanje vlažnosti ne sme biti debelejša od 3 cm);
- zatesnjenosti vitrine ali škatle (čim bolj je prostor zaprt, tem večja je učinkovitost snovi za nadzor relativne vlažnosti).

Za dobro zatesnjeno škatlo ali vitrino potrebujemo približno 100 gramov hibridnega silica gela (kot je Artsorb) za $0,03 \text{ m}^3$ zraka, če upoštevamo, da je razlika med relativno vlažnostjo v prostoru in v vitrini 20 %. Za povprečno vitrino, v kateri enkrat na dan zamenjamo zrak, potrebujemo 20 kg/m^3 silica gela na leto, če ga med letom ne zamenjamo.

Količina silica gela se proporcionalno poveča, če:

- je razlika med relativno vlažnostjo v prostoru in relativno vlažnostjo v vitrini velika,
- so zahtevana minimalna nihanja relativne vlažnosti v vitrini,



Rezultati merjenja relativne vlažnosti v embalaži z Artsorbom, ki je kondicioniran na 75 % relativne vlažnosti

- temperatura niha za več kot 10 °C,
- je prostornina vitrine zelo velika v primerjavi z velikostjo predmeta,
- moramo podaljšati čas med eno in drugo zamenjavo silica gela.

Silica gel mora biti zapakiran, da ga lažje uporabljamo in preprečimo, da bi se razsul. Za pakiranje lahko uporabljamo netkane poliestrske tkanine, *Tyvek*, najlon ali polipropilen oziroma pleksi s perforacijami.

Za znižanje relativne vlažnosti v vitrini moramo uporabiti popolnoma suh silica gel. Posušimo ga lahko v mikrovalovni pečici (dve minuti na najmočnejši vrednosti, potem ga hladimo približno eno minuto in postopek ponovimo desetkrat oziroma dokler silica gel ni popolnoma suh) ali v običajni pečici (4 ure pri 85 °C).

Če uporabljamo snovi za uravnavanje vlažnosti, moramo raven relativne vlažnosti nujno nadzirati z ustreznim inštrumentom.

Če uporabljamo snovi za uravnavanje vlažnosti, da bi dosegli določeno vrednost relativne vlažnosti, nižjo ali višjo od povprečne, potem relativna vlažnost, ki jo bomo dosegli z vnosom obdelanega silica gela, ne bo konstantna. Zaradi vdora zraka v vitrino ali

Uporaba razvlažilnikov v razstavnem prostoru



Muzej uporabnih umetnosti v Beogradu

embalažo se bo relativna vlažnost v vitrini zvišala ali znižala in se izenačila z relativno vlažnostjo v prostoru. Ker se snovi za uravnavanje vlažnosti obnašajo kot stabilizatorji, moramo za to, da bi obdržali želeno raven relativne vlažnosti, redno spremljati spremembe klime v vitrini in redno menjavati snov za uravnavanje vlažnosti.

Na podlagi podatkov, zbranih v študiji klime, lahko predvidimo tudi stabilizacijo klimatskih razmer v posameznih prostorih, vlaženje ali razvlaževanje prostorov med letom z uporabo prenosnih naprav (vlažilnikov, razvlažilnikov), klimatske naprave ali klimatskega sistema (gl. *Oprema, ki jo uporabljamo za regulacijo relativne vlažnosti in temperature*).

Če načrtujemo popolno klimatizacijo stavbe, moramo upoštevati omejitve, ki jih narekuje stavba sama, prav tako pa tudi njeno zgodovinsko vrednost. Pogoje za klimatizacijo oziroma želene vrednosti relativne vlažnosti in temperature ter dovoljena nihanja določimo glede na potrebe zbirk. Če imamo v dveh zbirkah muzejsko gradivo, ki zahteva posebne pogoje, ni niti ekonomsko niti energijsko sprejemljivo, da bi zanj oblikovali ločeni enoti.

Za mešane zbirke, ki so že nekaj desetletij v stari stavbi brez vidnih sprememb v zadnjem desetletju, ni treba *izboljševati* obstoječega sistema kontrole oziroma uvajati novega, ne da bi upoštevali trenutne vrednosti relativne vlažnosti in potrdili, da lahko te povzročijo več poškodb kot *izboljšav*. Obstoječi sistem mora nujno delovati zanesljivo, prav tako pa je nujno dolgoročno vzdrževanje stavbe in naprave, če ta obstaja.

Strategije za regulacijo ravni onesnaženja

Da bi zmanjšali koncentracijo onesnaževalcev v prostoru, moramo izboljšati tesnost stavbe ali posameznih delov stavbe, vrat in oken ter predmete postaviti v ustrezno zaprto embalažo in pohištvo. Poleg tega se moramo izogibati uporabi barv in premazov na osnovi olj ali alkidov, nepremazanim lesenim predelavam, izdelanim z lepilom na osnovi sečninsko-formaldehidnih smol, izdelkom na osnovi žvepla, RTV-silikonu¹¹ in postavljanju volnenih preprog (če ni izrazitega vonja, starega pohištva ali pregrad ni treba zamenjati). V razstavnem prostoru brez prezračevanja moramo omejiti število obiskovalcev.

Nadzor onesnaževalcev moramo prilagoditi značaju in občutljivosti predmetov. Razdelimo jih v cone z različno kakovostjo zraka glede na njihovo občutljivost na zunanje onesnaženje. Upoštevati moramo, da v muzejih z naravnim prezračevanjem periodično odpiranje vrat in oken pomeni zmanjšanje koncentracije zunanjih onesnaževalcev v prostoru ter da stene, tla, pohištvo in zbirke absorbirajo onesnaževalce. Če bodo okna odprta po nekaj ur dnevno, se koncentracija onesnaževalcev zunaj in znotraj ne bo bistveno razlikovala. Pri prezračevanju prostorov moramo poskrbeti, da ni navzkrižnega prezračevanja (če sta na primer dve okni v prostoru drugo nasproti drugemu). V prostorih, v katerih so zbirke, ne smejo potekati dejavnosti, ki povzročajo prah in pline, razen če ločimo prezračevalne cone in uporabljamo lokalne odvode zraka za dejavnosti, ki povzročajo nastanek onesnaževalcev (kuhanje, delavnice, skladišča s kemičnimi sredstvi).

Vzdrževanje relativne vlažnosti pod 60 % in temperature v razponu od 15 do 25 °C lahko zmanjša vpliv zunanjih onesnaževalcev na predmete.

Če imamo v muzeju mehansko prezračevanje, moramo izbrati ustrezno lokacijo za dovod zraka v stavbo (stran od ulice, izpušnih cevi, parkirišč, prostora za iztovarjanje itd.), na primer na strehi, in zagotoviti različne cone nadtlaka z minimalnim vnosom zraka, ki je potreben za človekovo zdravje, če imamo centralno klimatizacijo. V stavbah s centralno klimatizacijo moramo filtrirati zrak, ki kroži.

¹¹ Silikoni, ki vulkanizirajo pri sobni temperaturi.

Če ocenimo, da potrebujemo filtracijo (zaradi povečane ravni koncentracije zunanjih onesnaževalcev v prostoru), uporabimo visokoučinkovite filtre za delce in filtre na osnovi aktivnega oglja, impregnirane z natrijevim karbonatom ali z natrijevim hidroksidom, na osnovi sintetičnega aluminijevega oksida, impregniranega z natrijevim permanganatom, ali vložke iz kompozitnih materialov, običajno z aktivnim ogljem in impregnacijo iz natrijevega karbonata.

Stopnja pričakovanega učinka sistema za filtracijo je določena glede na koncentracijo onesnaževalcev v prostoru, kapaciteto stavbe in funkcijo prostora. Popolno prezračevanje pomeni filtracijo delcev z ≥ 90 -odstotnim učinkom. To dosežemo z vgradnjo treh vrst filtrov: predfiltra s 25–30-odstotnim učinkom, filtra srednje učinkovitosti s 40–45- do 80–85-odstotnim učinkom in filtra z 90–95-odstotnim učinkom.

Zaradi visoke cene visokoučinkovitih filtrov za trdne delce običajno vgradimo slabše ali srednje učinkovit filter kot prvi filter in še predfilter (za ločevanje večjih delcev, kot so pesek, insekti in suho listje).

Za onesnaževalce zraka dodamo med prvim in končnim filtrom še filter za pline. Za večjo učinkovitost lahko kombiniramo dva filtra.

Filtri morajo biti postavljeni v sistem za prezračevanje, tako da gre skozi njega ves suh zrak, ki vstopa v stavbo, pa tudi zrak, ki kroži po stavbi.

Vitrine v razstavnem prostoru morajo biti dobro zaprte in izdelane iz kemijsko stabilnih materialov, da omogočajo vzdrževanje stabilnih vrednosti relativne vlažnosti (vitrina mora biti najmanj 10 cm oddaljena od zunanje stene ali hladnih tal, da se temperatura v njej ne spreminja). Pri nezatesnjeni vitrini s stiki, odprtimi od 0,5 do 2 cm, se zrak zamenja enkrat na uro in razmere v njej so podobne razmeram v prostoru, pri srednje zatesnjeni vitrini se zrak zamenja enkrat na 24 do 36 ur, v dobro zatesnjeni vitrini pa se zrak v celoti zamenja samo na vsakih 72 ur, kar dosežemo z zapiranjem stikov. Uporabljati moramo neprepustne ali manj prepustne materiale, kot sta steklo in pleksi (debeline 6,35 mm in več). Če za izdelavo vitrine uporabimo les ali predelan les, jih moramo prekriti s paroneprepustnimi plastmi, kot so laminat, kovinska folija in polietilen, ali jih premazati z ustreznim premazom.

Če imamo vir onesnaževalcev v vitrini, je zaradi izbire materiala zaželeno zagotoviti pogosto izmenjavo zraka. Tako se koncentracija onesnaževalcev lahko zmanjša tudi za 80 %. Če je zaradi občutljivosti razstavljenega predmeta to nujno potrebno, je v vitrino mogoče položiti aktivno oglje ali natrijev permanganat (pasivni sistem) ali pa postaviti vitrine s filtracijo (aktivni sistem).

Strategije za regulacijo svetlobnega sevanja

Če želimo nadzirati in ublažiti stopnjo poškodb na materialih, ki nastanejo zaradi vpliva svetlobnega sevanja, moramo določiti občutljivost materialov in sprejemljive poškodbe za to kategorijo občutljivosti ter na podlagi tega določiti sprejemljiv minimum svetlobnega sevanja. Nato glede na jakost osvetlitve določimo čas razstavljanja predmeta, da bo material izpostavljen največ do mejne vrednosti skupne doze sevanja na leto, ki je priporočena za to kategorijo občutljivosti.

Predmetov, ki spadajo v kategorijo zelo občutljivih, ni priporočljivo razstavljati v stalnih postavitvah, kar še zlasti velja za zelo občutljive predmete velikega in izjemnega pomena.

Predmete lahko zamenjamo s podobnimi predmeti iz depoja oziroma jih lahko razstavljamo samo občasno. Uporabimo lahko tudi senzorska stikala, ki vključijo osvetlitev, ko so obiskovalci v prostoru ali zraven vitrine. V razstavnem prostoru luč vklopimo samo takrat, ko je muzej odprt za obiskovalce, v depoju pa le takrat, ko ga uporabljamo.

Zmanjšati moramo tudi jakost osvetlitve na površini, vendar moramo pri tem upoštevati nujni minimum za dobro vidnost predmetov. Količina osvetlitve na površini je odvisna od oddaljenosti površine od vira svetlobe. Povečanje osvetljene površine med virom svetlobe in predmeti pomeni, da bo manj svetlobe padlo na površino predmetov. Če se razdalja med virom svetlobe in predmetom podvoji, se količina svetlobe, ki pride do površine predmeta, zmanjša na 25 %. Na vidnost predmeta lahko vplivamo tudi z drugimi muzeografskimi sredstvi, na primer s šibkejšo ambientalno osvetlitvijo in temnejšim ozadjem v primerjavi s predmeti. Ti ukrepi povečajo kontrast in razširijo zenice, tako da do mrežnice pride več svetlobe, kar pomeni, da potrebujemo manjšo intenzivnost svetlobe za isto vizualno interpretacijo. V večini primerov intenzivnost osvetlitve preko 200 luxov prinaša samo minimalne izboljšave zaznave.

ISO	Čas razstavljanja za 1 JNF	Število Mlx h, ki bo povzročilo 1 JNF	Primeri
1	0,3	6.000 h x 50 lx = 0,3 Mlx h	Če je 1 JNF sprejemljiv v roku 10 let, je lahko predmet razstavljen 20 % časa pri 50 lx (2 leti x 365 dni x 8 ur x 50 lx = 0,3 Mlx h).
2	1		
3	3		
4	10	67.000 h x 150 lx = 10 Mlx h	Če je predmet stalno razstavljen pri 150 lx, se bo 1 JNF pojavil po približno 20 letih (22 let x 365 dni x 8 ur x 150 lx = 10 Mlx h).
5	30		
6	100		
7	300	1.500.000 h x 200 lx = 300 Mlx h	Če je predmet stalno razstavljen pri 200 lx, se bo 1 JNF pojavil po približno 500 letih (510 let x 365 dni x 8 ur x 200 lx = 300 Mlx h).
8	1100		

Primeri izračunavanja jakosti in dolžine osvetlitve predmeta glede na občutljivost materiala in časa osvetljenosti predmeta, ki lahko povzroči poškodbe

Povzeto po: Boersma, F., et al., 2007, *Unravelling Textiles*, tabela 13, 60.

Ultravijolično sevanje moramo odpraviti s filtri ali svetilkami, ki ne oddajajo ultravijoličnega spektra (LED-osvetlitev). Predmete moramo zaščititi pred infrardečim sevanjem in osvetlitve ne smemo postaviti neposredno v vitrino. Če povečamo razdaljo med predmeti in svetilko, se zmanjša neposredno segrevanje predmetov. Neposredna sončna svetloba ne sme priti v razstavni prostor, v katerem so razstavljeni predmeti, občutljivi na svetlobno sevanje, sončna svetloba tudi ne sme padati neposredno na predmete. Vstop neposredne sončne svetlobe v prostor moramo preprečiti z žaluzijami, senčili in zavesami.

Pri izbiri žarnic/sijalk (gl. *Vrste virov svetlobe*) moramo upoštevati dejavnike, opisane v nadaljevanju.

- Količina ultravijoličnega in infrardečega sevanja, ki ju žarnice/sijalke sevajo. Vsi viri sevajo določeno količino ultravijoličnega in infrardečega sevanja (razen LED-svetilk, ki nimajo ultravijoličnega sevanja, infrardečega sevanja pa je 1 %). Pri običajni in halogenski žarnici predstavlja infrardeče sevanje skoraj 90 %, samo 9 % pa vidna svetloba, pri fluorescenčni sijalki pa je le 10 % infrardečega

sevanja in 88–89 % vidne svetlobe. Največ ultravijoličnega sevanja proizvajajo metalhalogenidne sijalke, tako da moramo uporabiti filter, in sicer stekleni filter zaradi visokih temperatur.

- Indeks barvne reprodukcije (CRI). Žarnica mora vsebovati vse valovne dolžine od 400 do 780 nm, da so vse barve na predmetu vidne, kot da bi bil osvetljen z neposredno sončno svetlobo. Inkandescentne žarnice in večina halogenskih žarnic imajo indeks barvne reprodukcije 100, kar pomeni, da so vse barve vidne kot pri sončni svetlobi. Pri fluorescenčnih sijalkah je indeks barvne reprodukcije odvisen od tipa fosforja. Na razstavi mora biti predmet osvetljen z virom svetlobe, ki ima indeks barvne reprodukcije najmanj 85. Običajno se za osvetlitev prostora uporabljajo fluorescenčne sijalke, ki imajo indeks barvne reprodukcije večji od 90, halogenske žarnice pa za poudarjanje specifičnih lastnosti predmetov, teksture, barve itd. LED-svetilke imajo nizek indeks barvne reprodukcije (CRI), vendar so dobra izbira, ko so razstavljeni predmeti, pri katerih barva nima primarnega pomena.
- Temperatura barve (izražena v kelvinih). Vsakemu nominalnemu belemu viru svetlobe lahko dodelimo korelirano temperaturo barve svetlobe (*correlated colour temperature* – CCT), ki predstavlja absolutno temperaturo črnega telesa, pri kateri se njegova svetloba najbolj sklada z barvo vira svetlobe. Inkandescentna žarnica ima temperaturo barve 2700 K, kar pomeni, da je rumena oziroma da daje rumeno svetlobo. Svetloba žarnice z nizko temperaturo barve se šteje za *toplo*, če pa uporabljamo žarnice z višjo temperaturo barve in z nižjo intenzivnostjo osvetlitve, je barva bolj živa. V pisarnah priporočamo uporabo virov svetlobe, ki so nevtralni, beli, s temperaturo 4000 K, v konservatorskih delavnicah pa uporabljamo izključno fluorescenčne sijalke z indeksom barvne reprodukcije, ki je večji od 90, in s temperaturo barve svetlobe 6500 K (tipična vrednost za dnevno svetlobo) ter halogenske žarnice (tipa UV-stop), ki kompenzirajo pomanjkanje dela rumenega spektra pri fluorescenčnih sijalkah. V razstavnem prostoru se temperatura barve vira svetlobe prilagaja splošnemu konceptu dizajna razstave.
- Življenjska doba vira svetlobe je odvisna od tipa žarnice/sijalke.
- Učinkovitost osvetlitve, ki je izražena v lumen/watt. Halogenska svetilka ima učinkovitost 22 lm/W (odvisno od vrste), fluorescenčna sijalka pa tudi do 93 lm/W.
- Možnost zmanjšanja jakosti osvetlitve s pomočjo ustrezne opreme.

Osnovni pojmi, ki jih moramo poznati pri kontroli in regulaciji okoljskih dejavnikov v muzeju

Klimo v prostoru določajo trije parametri: relativna vlažnost, absolutna vlažnost in temperatura. Za določitev ustreznih klimatskih razmer v muzeju moramo poznati njihove medsebojne vplive.

Relativna vlažnost zraka je razmerje, izraženo v odstotkih, med količino vodne pare (vlage) v določeni prostornini zraka in maksimalno količino vodne pare, ki jo lahko ta prostornina zraka vsebuje pri določeni temperaturi. Ali natančneje: relativna vlažnost je razmerje med parcialnim tlakom vodne pare v določeni prostornini zraka in tlakom nasičene pare pri isti temperaturi.

Relativna vlažnost je odvisna od temperature zraka. Pri višanju temperature se relativna vlažnost znižuje, ko pa se temperatura niža, se višek vodne pare utekočini in relativna vlažnost se povišuje.

Če je temperatura konstantna, se relativna vlažnost zvišuje oziroma znižuje z dodajanjem oziroma zmanjševanjem količine vodne pare v zraku.

Nasičenost je največja količina vodne pare, ki jo določena prostornina zraka lahko vsebuje pri določeni temperaturi. Ta količina je odvisna od temperature: zrak pri višji temperaturi vsebuje več vodne pare. Če dodamo vodno paro v določeno prostornino vlažnega zraka, ki je nasičena, pride do kondenzacije. Če se temperatura zniža na določeno vrednost (rosišče ali temperatura rosišča), prav tako pride do kondenzacije. Lokalizirana kondenzacija se pojavlja na določeni površini in v določenem trenutku, in sicer se voda izloči iz atmosfere na hladnejši površini; najočitnejši primer je kondenzacija na avtomobilski šipi ali na kozarcu hladne vode.

Kondenzacija na steklu



Rosišče je temperatura, do katere moramo ohladiti določeno maso vlažnega zraka, da pride do nasičenja in se iz zraka začne izločati voda.

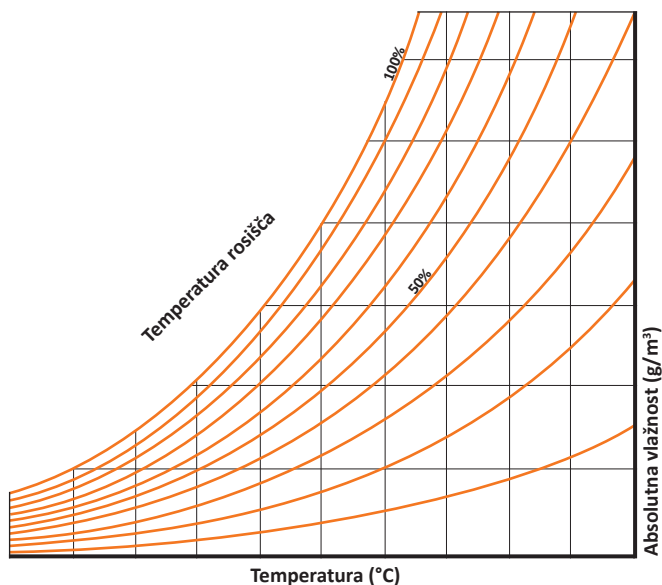
Absolutna vlažnost je količina vodne pare, izražena v gramih na m^3 , ki jo lahko vsebuje dana prostornina vlažnega

zraka. Če se določena prostornina zraka segreva ali hladi brez dodajanja ali odvzemanja vodne pare, ostane absolutna vlažnost nespremenjena.

Temperatura. Gibanje molekul v materialu je povezano s temperaturo. Ko se temperatura zvišuje, se molekule gibljejo hitreje in v prostoru širijo, s tem pa se širi tudi material. Ko se temperatura znižuje, se gibanje molekul upočasnjuje, molekule se stiskajo in s tem se material krči. Neustrezna temperatura ali nihanja temperature lahko neposredno vplivajo na določene materiale, negativni vplivi pa so lahko vidni tudi čez nekaj tednov.

Psihrometrični (Mollierov) diagram je grafična predstavitev razmerja med tremi parametri, ki določajo klimo znane prostornine zraka: temperaturo ter absolutno in relativno vlažnostjo. S psihrometričnim diagramom spremljamo spremembe parametrov, kar pomeni, da lahko vidimo, kakšne spremembe povzroči nihanje enega izmed parametrov. Na ta način lahko predvidimo nekatere situacije ali vrsto situacij, ki so posledica spremembe temperature zaradi ogrevanja ali hlajenja ali spremembe absolutne vlažnosti zaradi dodajanja ali odvzemanja vodne pare. Na podlagi psihrometričnega diagrama lahko iz dane situacije, ko poznamo parametre temperature in relativne vlažnosti, določimo, kaj moramo storiti, da bi dosegli želeno spremembo:

Psihrometrični
diagram



znižanje, zvišanje ali stabiliziranje relativne vlažnosti, znižanje ali zvišanje temperature, dodajanje ali odvzemanje vodne pare.

Mikroklima v stavbi se nanaša na določeno prostornino zraka oziroma na določen prostor v stavbi, kjer sta temperatura in/ali relativna vlažnost drugačni od tistih v okolici.

Mikroklimatske razmere se spremenijo, ko pride zrak v neposreden stik z virom toplote ali hladu, na mokrih ali suhih površinah ali v zatesnjenem prostoru: v stiku z grelnimi telesi, vodovodnimi cevmi, za zavesami, v bližini oken, v stiku s slabo izolacijo, zunanjimi klimatskimi razmerami, okrog rastlin itd.

Okna v stavbi lahko pripadajo istim klimatskim conam in enako reagirajo na zunanje vplive, vendar so možne variacije, ki so odvisne od njihovega položaja v stavbi (pritličje je običajno bolj vlažno od nadstropij).

Regulatorji vlažnosti (snovi, ki uravnavajo vlažnost)

Regulator vlažnosti je katera koli snov, ki nevtralizira ali ublaži spremembo relativne vlažnosti zraka v neposredni okolici, pri različnih vrednostih relativne vlažnosti oziroma spremembi temperature. Če se raven relativne vlažnosti zniža, bo regulator vlažnosti oddal ustrezno količino vlage in s tem ohranil ravnotežje z okolico. Ustrezen regulator vlažnosti pri povišanju relativne vlažnosti vpije/absorbira vlago, če se raven relativne vlažnosti zniža, pa vlago odda. Regulatorje vlažnosti lahko uporabimo za kratkoročno stabilnost in dodatno varnost pri okvari centralnega sistema za nadzor klimatskih razmer.

Organske snovi s svojo prisotnostjo vplivajo na spremembe klimatskih razmer v prostoru. Materiali, kot so les, papir, tekstil in usnje, so primerni za uravnavanje vlažnosti in varujejo zbirke pred hitrimi klimatskimi spremembami (leseni paneli, tla in zavese lahko v okolju zagotovijo stabilne klimatske razmere).

Če se relativna vlažnost hitro zviša, se vlaga razporedi med regulatorjem vlažnosti, zrakom in predmetom. Tako zmanjšamo vpliv klimatskih sprememb na predmete. Če se prostor hitro razvlaži, regulatorji vlažnosti oddajo nekaj vlage v prostor in težijo k vzdrževanju ravnotežja, tako da je učinek izsuševanja na materiale manjši.

Reakcijski čas organskih materialov na nihanje relativne vlažnosti je odvisen od:

- lastnosti materiala,
- velikosti, oblike in razporeditve materiala (večja površina materiala, ki je izpostavljena zraku, pomeni hitrejšo doseglo ravnotežja),
- pogostosti izpostavljenosti regulatorjev vlažnosti nihanjem relativne vlažnosti (vsi organski materiali prvič reagirajo hitreje),
- prisotnosti ali odsotnosti premazov (če je material premazan z voskom, barvo ali kakšnim drugim premazom, ki je neprepusten za vodo, bo izgubil lastnosti regulatorja vlažnosti);
- temperature zraka (običajni razponi temperature v muzeju ne vplivajo na absorpcijske kapacitete organskih snovi).

Naravni in sintetični materiali za uravnavanje vlažnosti

Naravne organske snovi so lahko dostopne, enostavne za uporabo in poceni, vendar so biološko in kemijsko nestabilne. Tudi njihova lastnost uravnavanja vlažnosti (kar pomeni moč absorpcije vlage tega materiala in način, kako različne ravni relativne vlažnosti vplivajo na moč absorpcije) je omejena.

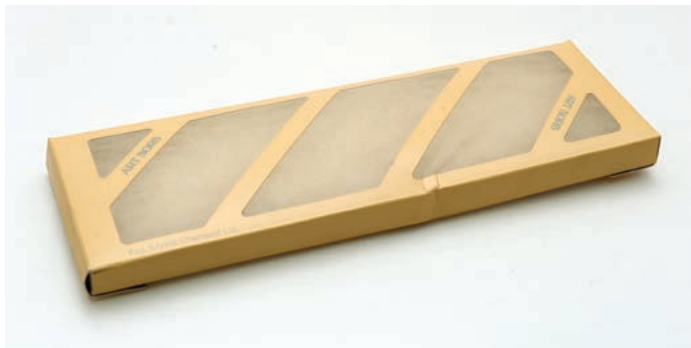
Najboljši material za konserviranje predmetov je tisti, ki hitro nevtralizira klimatske šoke, saj bo, če bo na spremembo vlažnosti reagiral prepočasi, predmet prvi reagiral na klimatsko spremembo.

Idealen material za uravnavanje vlažnosti mora biti trden, biološko in kemijsko stabilen, imeti mora sposobnost uravnavanja vlažnosti v vseh razponih relativne vlažnosti in absorbirati mora veliko količino vodne pare (vlage), ko je relativna vlažnost 100 %. Anorganske snovi, kot je umetna glina ($\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) v obliki granul ali silica, se odlikujejo z dimenzijsko stabilnostjo in veliko poroznostjo.

Obstajajo različni tipi porozne oblike silica gela (SiO_2)¹² z različnimi lastnostmi (ki se obnašajo različno glede na razpon relativne vlažnosti) in različnih oblik (prah, kristali, zrna). Nekateri imajo barvni indikator, ki kaže, ali je silica gel vlažen ali suh.¹³ Silica gel z indikatorjem najpogosteje uporabljamo takrat, ko želimo doseči nizko relativno vlažnost, na primer pri hranjenju kovin.

¹² Silicijev dioksid.

¹³ Je modre barve, ko je suh, in rožnate, ko je vlažen. Indikator modre barve v silica gelu je na osnovi kobalta in je kancerogen, če ga vdihavamo, tako da namesto njega priporočamo uporabo indikatorja rdeče barve na osnovi mangana. Če uporabljamo silica gel z modrim indikatorjem, je obvezna uporaba halje, maske, rokavic in zaščitnih očal.

Artsorb**Nasičene raztopine soli**

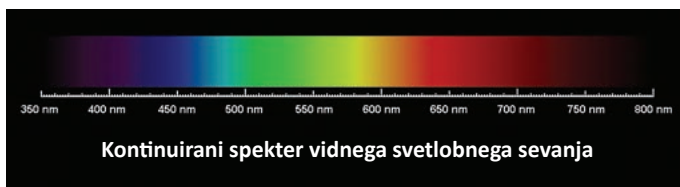
Neposredno nad površino čiste vode je relativna vlažnost 100 %. Ko v vodo postavimo snov, ki se raztaplja, na primer topno sol, je relativna vlažnost zraka nad površinsko plastjo vode manjša od 100 %. Pri topnih soleh je raven relativne vlažnosti odvisna od vrste soli, zelo malo pa od temperature. Da bi ohranili stabilno, konstantno relativno vlažnost, mora biti raztopina nasičena. To dosežemo z dodajanjem soli v raztopino, vse dokler na dnu posode ne ostane plast neraztopljene soli.

Raztopino soli lahko uporabimo za umerjanje merilnih inštrumentov.

Svetlobno sevanje je elektromagnetno sevanje z valovno dolžino od 400 do 780 nm. Vidna svetloba predstavlja samo en del optičnega spektra, ki zajema naslednje intervale valovnih dolžin: infrardeče (več kot 780 nm), vidno (780–380 nm) in ultravijolično sevanje (380–100 nm).

Osvetlitev ali intenzivnost osvetlitve (iluminacija) je določena količina svetlobne energije, ki pada na površino predmeta. Meri se v luxih (lumen na kvadratni meter).

Doza svetlobnega sevanja na površini predmeta ali skupna izpostavljenost predmeta je zmnožek jakosti osvetlitve (osvetljenosti), izražene v luxih, in časa, izraženega v urah (lux ure).



Ultravijolično sevanje ni izraženo z intenzivnostjo, ampak se meri glede na jakost svetlobe. Izraženo je v mikrowattih (ultravijoličnega sevanja) na lumen (svetlobe).

Oksidacija je kemijska reakcija, pri kateri atom odda elektrone. Večinoma jo razumemo kot reakcijo med snovjo in kisikom, zaradi česar nastane ena ali več novih spojin.

Hidroliza je kemijska reakcija med snovjo in vodo. Reakcija povzroči cepljenje molekulskih vezi, kar se pogosto kaže v poslabšanju mehanskih lastnosti in spremembi v strukturi snovi.

Mehanski in elektronski instrumenti za merjenje temperature in relativne vlažnosti

Za merjenje temperature zraka najpogosteje uporabljamo termometre s tekočo snovjo, ki je občutljiva na spremembe temperature, kot sta živo srebro in alkohol. Uporabljamo tudi termometre s trdno snovjo in bimetalne termometre, sestavljene iz dveh različnih zlitin, ki različno reagirata na spremembe temperature. Elektronski termometri imajo elektronski senzor; njihovo delovanje temelji na dejstvu, da je električni tok v nekaterih elementih odvisen od temperature.

Termometri s tekočo snovjo so natančnejši od tistih s trdno snovjo, vendar so bolj občutljivi, termometri s trdno snovjo pa reagirajo počasneje in zahtevajo redno umerjanje, ker so občutljivi na vibracije. Umerimo jih s pomočjo vgrajenega vijaka in na podlagi primerjave z drugim termometrom (na primer tistim z živim srebrom).

Inštrumenti za merjenje zgolj relativne vlažnosti ali inštrumenti za merjenje relativne vlažnosti in temperature se delijo na mehanske in elektronske. Uporabljamo jih za občasno ali kontinuirano merjenje.

Različne vrste inštrumentov za spremljanje relativne vlažnosti

	Mehanski inštrumenti	Elektronski inštrumenti
Občasno merjenje	termohigrometer	elektronski higrometer
Kontinuirano merjenje	termohigrograf	dataloger, elektronski termohigrograf



Psihrometer

Psihrometer je sestavljen iz dveh termometrov. Eden meri temperaturo zraka (suhi termometer), drugi, ki ima krpico, ki se navlaži (mokri termometer), pa meri padec temperature pri izparevanju vode. Ko voda izpareva, se porablja energija in temperatura se znižuje sorazmerno s količino vode, ki je izparela. Količina vode, ki izpari, je odvisna od vlažnosti zraka. Če je zrak bolj suh, je izparevanje večje, če pa je nasičen z vodo, izparevanja ni. Da bi izparevanje pospešili, oba termometra izpostavimo kroženju zraka, ki je lahko posledica ročnega obračanja inštrumenta, mehanskega ali elektronskega prezračevanja. Obstajajo različni tipi psihrometrov:

- *sling* psihrometer,

Asmanov psihrometer

- mehanski in elektronski Asmanov psihrometer z vgrajenim ventilatorjem z navijanjem ali motorjem na baterije,
- elektronski psihrometer.

Znižanje temperature na vlažnem termometru po prezračevanju ustreza količini vodne pare, ki jo zrak lahko sprejme. Glede na razlike v temperaturi med vlažnim in suhim termometrom lahko s pomočjo ustreznih tabel ugotovimo relativno vlažnost v prostoru. Psihrometer uporabljamo predvsem za kalibracijo drugih merilnih inštrumentov.

Mehanski in elektronski higrometri

Inštrumente z elementom, ki je občutljiv na spremembe relativne vlažnosti (na primer les, papir, las) imenujemo higrometri. Imajo kazalec, s katerim se prenaša reakcija reaktivnega elementa, skalo z odstotki, na kateri odčitavamo vrednosti, in vijak za umerjanje. Glede na senzitivni element, vgrajen v inštrumentu, ločimo:

- higrometer s papirjem,
- higrometer z dlako,
- higrometer s sintetičnim vlaknom,
- termohigrometer.



**Higrometer,
termohigrograf,
dataloger**

Pri higrometru s papirjem je papirnati trak navadno izpostavljen zraku in navit na tanko kovino v obliki spirale, ki se zateguje in odteguje, ko reagira na spremembe relativne vlažnosti. Glede na to, da kovina ne reagira na te spremembe, napetost, ki se pojavlja med kovino in papirjem, zateguje ali odteguje spiralo.

V higrometrih z dlako ali sintetičnim vlaknom se uporablja človeška čista dlaka ali sintetično vlakno, ki se razteza in krči, ko je izpostavljeno nihanjem relativne vlažnosti. Čim daljša je dlaka, tem bolj občutljiv je higrometer in hitreje reagira na spremembo vlažnosti v prostoru.

Termohigrometri imajo kovinsko trakasto spiralo, ki je občutljiva na temperaturne spremembe.

Elektronski termohigrometri imajo senzor s kapacitivnim elementom, ki je občutljiv na vlago, in s platinastim uporom, ki je občutljiv na temperaturo.

Higrometer moramo umeriti enkrat mesečno ali takrat, ko ocenimo, da je njegova napaka nesprejemljiva (na primer, če je večja od 5 %). Umerjanje izvedemo v umetno ustvarjeni nasičeni atmosferi s 100 % relativne vlažnosti (z mokro krpo ali z nasičenimi solmi) ali tako, da primerjamo vrednosti s psihrometrom ali drugim pred kratkim umerjenim higrometrom.

Inštrument moramo redno čistiti z destilirano vodo, da odstranimo umazanijo z dlake in kazalca.

Prednosti higrometra so enostavno odčitavanje podatkov in enostavna uporaba, vendar pa ne smemo pozabiti, da ga lahko uporabimo samo za merjenje trenutnega stanja.

Termohigrografi in elektronske naprave za kontinuirano spremljanje relativne vlažnosti in temperature

Termohigrografi so inštrumenti, ki simultano in kontinuirano beležijo spremembe relativne vlažnosti in temperature zraka ter tako dajejo jasno sliko o obstoječih klimatskih razmerah v muzejskih prostorih. Termohigrograf je sestavljen iz bimetalnega termometra in sistema za beleženje sprememb relativne vlažnosti (kot pri higrometru z dlako), ki sta povezana s kazalci, na vrhu katerih je pisalo. Urni mehanizem premika boben, na katerega postavimo papir za beleženje podatkov o temperaturi in relativni vlažnosti. Mehanizem navijamo ali pa se premika s pomočjo motorja na baterije. To omogoča enodnevne, tedenske, dvotedenske in mesečne rotacije.

Termohigrografi so občutljivi za transport, saj lahko hiter premik inštrumenta spremeni položaj kazalcev, zato moramo pri premikanju inštrumenta kazalce blokirati. Pri zamenjavi papirja moramo nujno zabeležiti čas in kraj beleženja podatkov.

Posnete/zabeležene podatke moramo obdelati in pri tem upoštevati možne napake, ki jih je naredila oseba, ki rokuje z inštrumentom, in mehanske napake inštrumenta.

Elektronski sistemi za kontinuirano merjenje so sestavljeni iz več med seboj povezanih elementov:

- senzorja ali sonde, ki reagira na temperaturo in relativno vlažnost;
- konverterja, ki analogni signal, zabeležen s senzorjem, pretvori v digitalni signal;
- datalogerja, ki zbira in shranjuje podatke;
- računalnika s programsko opremo, v katerega prenašamo podatke preko kabla ali mreže (industrijski transponderji) ali s pomočjo radijskih valov (radijski transponderji); računalnik podatke sistematizira in obdela.

Redno umerjanje

inštrumenta je nujno, ker vsi reaktivni elementi (zlasti tisti, ki jih uporabljamo za spremljanje relativne vlažnosti) s časom izgubljajo svoje lastnosti. Termohigrograf lahko umerimo z nasičenjem atmosfere v notranjosti inštrumenta, pri čemer uporabimo navlažene papirnate brisače. Ko kazalec ne reagira več, ga z vijakom nastavimo na 95 % relativne vlažnosti in brisače odstranimo. Čez nekaj časa kazalec pokaže dejansko vrednost relativne vlažnosti.



Senzor, konverter in dataloger so lahko povezani v enem inštrumentu, na primer v obliki datalogerja na baterije.

Pri elektronskih inštrumentih lahko čas merjenja programiramo v intervalu od ene minute do štiriindvajsetih ur. Možno je tudi, da se sproži alarm, če kateri parameter ne ustreza podanim vrednostim. Pogostejše merjenje zavzame več pomnilnika in zahteva pogostejše prenašanje podatkov, moramo pa upoštevati, da se podatki lahko popačijo, ker se vrednosti merijo v intervalih (ne pa analogno kot pri termohigrografu), kar pomeni, da naprava ne zabeleži sprememb med dvema intervaloma merjenja.

Elektronski senzorji imajo lahko natančnost 3 % relativne vlažnosti v širokem razponu relativne vlažnosti in temperature, vendar jih moramo periodično umerjati, in sicer v skladu z navodili proizvajalca ali enkrat letno. Inštrumenti se razlikujejo po trajnosti in stabilnosti senzorjev ter točnosti podatkov, kar je odvisno od vrste inštrumenta.

Inštrumenti za merjenje svetlobnega sevanja



Luksmeter je inštrument, s katerim merimo jakost osvetlitve. Svetlobni žarki se s pomočjo fotocelice pretvorijo v električno energijo. Jakost dobljene električne energije se zabeleži na skali v miliamperih, ki so preračunani oziroma prevedeni v lux.

UV-meter je inštrument, s katerim merimo jakost ultravijoličnega sevanja oziroma sevalni tok ultravijoličnega sevanja.

Obstajajo naprave, ki kombinirano merijo jakost vidnega svetlobnega sevanja ter ultravijoličnega in infrardečega sevanja, pa tudi naprave, ki beležijo skupno dozo svetlobnega sevanja.

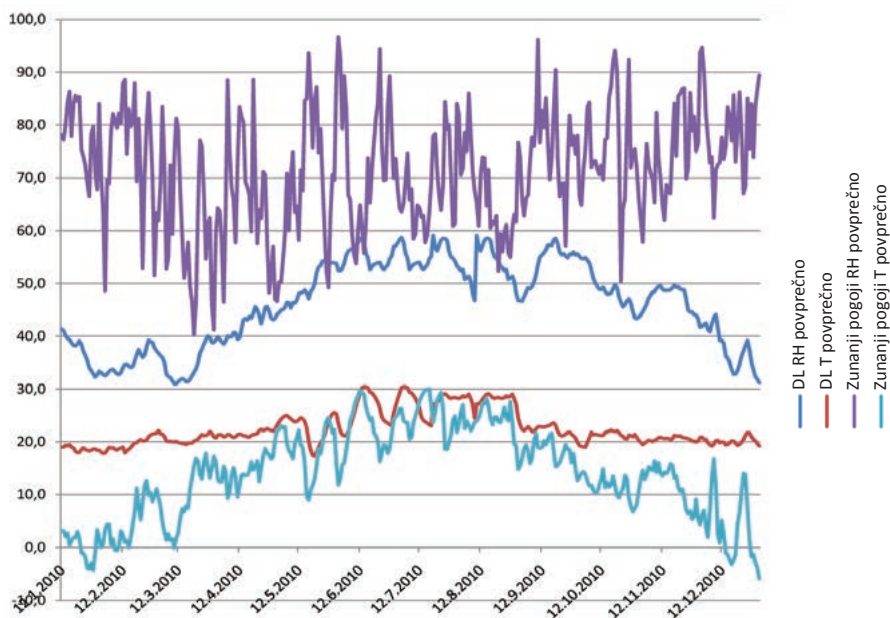
Inštrument za merjenje jakosti osvetlitve ter jakosti ultravijoličnega in infrardečega sevanja

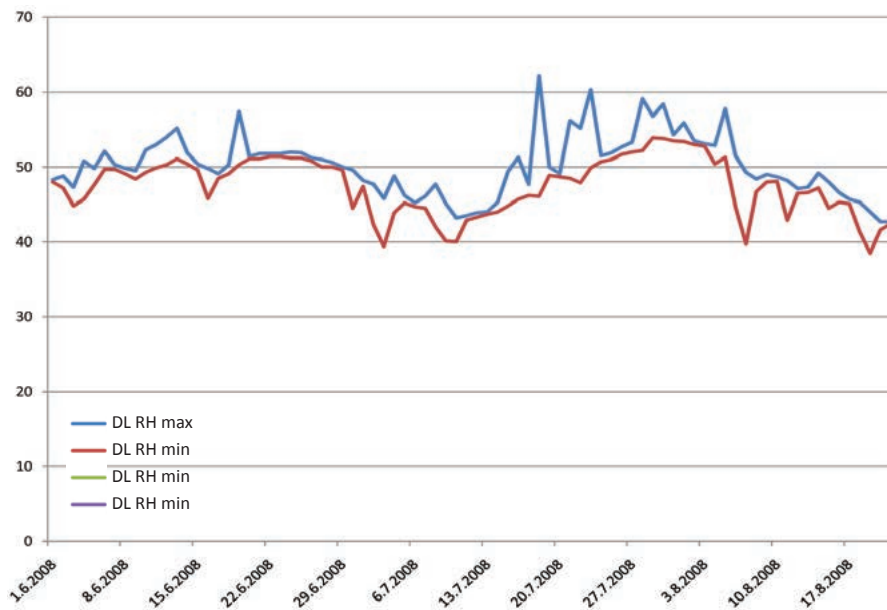
Vremenske motnje, ki vplivajo na muzejsko stavbo

Na muzejsko stavbo vplivajo zunanje klimatske razmere in spremembe, to so dnevne in sezonske spremembe temperature, vlažnosti zraka, dež, veter, neposredno in difuzno sevanje sonca, ter notranje klimatske razmere in spremembe, to pa so obiskovalci in oprema v prostoru oziroma osvetlitev ter razstavni predmeti.

Klimatske razmere v prostoru so odvisne od orientacije in števila zunanjih sten oziroma od njihove izpostavljenosti vetru, od izolacije in debeline sten, velikosti in števila oken ter od zatesnjenosti vrat in oken. Zunanje klimatske razmere neposredno vplivajo na notranje, vendar je raven vpliva zunanjih variacij odvisna od higrotermalne učinkovitosti in izolacije stavbe. Stavba zagotavlja zamik učinkov sprememb zunanje temperature in relativne vlažnosti na notranje razmere; ta zamik je lahko od nekaj ur do nekaj tednov, odvisno od debeline sten in izolacije. Stavba stabilizira temperaturo, zmanjšuje nihanja relativne vlažnosti, tako da se maksimalne vrednosti odrazijo v notranjosti z zakasnitvijo, vendar pa veliko število odprtin omogoča lažji vpliv zunanjih klimatskih razmer na notranje. Odpiranje oken ali slabo zatesnjene odprtine omogočajo vdor zraka s temperaturo in relativno vlažnostjo, ki sta drugačni od tistih v stavbi. Odpiranje oken v dobro izolirani stavbi bistveno ne vpliva na spremembe

Stavba omogoča zamik in ublažitev učinkov sprememb zunanje temperature in relativne vlažnosti na notranje razmere.





Hitro znižanje ali zvišanje relativne vlažnosti čez dan lahko povzročimo z odpiranjem oken ali vrat, zvišanje pa z velikim številom obiskovalcev v prostoru ali na primer tudi s prenehanjem delovanja razvlaževalnika, ki ni redno prazen.

temperature, vpliva pa na stabilnost relativne vlažnosti. V prostoru v bližini okna, ki je izpostavljeno soncu, se lahko poruši stabilnost klimatskih razmer, saj skozi navadna okna prehaja 87 % sončne energije, zaradi česar se poviša temperatura in spremeni relativna vlažnost.

Na stabilnost razmer vplivata tudi obstoječa zaščita pred sončnim sevanjem (dvojna stekla, zavesa ali filtri) in vrsta umetne osvetlitve.

Na klimatske razmere vpliva tudi človeška dejavnost ali uporaba električnih naprav:

- povprečno letno število obiskovalcev; zaradi velikega števila obiskovalcev se poveča količina vodne pare, kar povišuje relativno vlažnost v prostoru;
- vzdrževanje fasade stavbe s pranjem, zaradi česar voda prodira v kamen, izhlapeva iz stene in povišuje relativno vlažnost v notranjosti;
- čiščenje oziroma pranje tal;
- ogrevanje; zaradi zvišanja temperature se relativna vlažnost zniža, zaradi hlajenja pa se zviša;
- delovanje razvlažilnikov in vlažilnikov, katerih stabilizacija je odvisna od vrste opreme in velikosti prostora;

- okvara klimatske naprave, kar lahko na dolgi rok povzroči nabiranje vode na stenah in tleh ter pojav plesni.

V stavbi muzeja lahko vodna para (vlaga) izvira iz kapilarne vlage, od kapljanja vode zaradi zamašenih žlebov ali počenih cevi, kondenzacije, pranja tal, dihanja obiskovalcev ... Vlaga lahko prodre v stene stavbe na štiri načine:

- iz tal zaradi delovanja kapilarnih sil;
- zaradi kondenzacije na površini sten, ki nastane, ko pride zrak v stik s hladnejšo površino;
- zaradi slabe izolacije sten, kar je značilno za dva heterogena prostora (klet, ki je delno vkopana v tla);
- s strehe stavbe zaradi dežja, snega in toče zaradi slabe ali poškodovane konstrukcije (luknje, okna, polomljeni žlebovi) ali zaradi puščanja cevi.

Oprema, ki jo uporabljamo za regulacijo relativne vlažnosti in temperature

Humidistati ali higrostat so električni instrumenti, ki jih povežemo z vlažilnikom, razvlažilnikom, ogrevalnim sistemom ali klimatsko napravo, da bi relativno vlažnost ohranili na želeni ravni. Humidistat v neposredni okolici nadzira in ureja relativno vlažnost, in sicer tako, da avtomatično izklaplja in vklaplja napravo, s katero je povezan, če pride v prostoru do odstopanja od podanih vrednosti.

Humidistat mora biti postavljen v bližini zbirk, saj nadziramo razmere v njihovi neposredni okolici.

Izbira humidistata je odvisna od:

- naprave ali sistema, ki ga nadziramo, saj razlikujemo naprave, ki jih uporabljamo za vlažilnike in razvlažilnike;
- želene relativne vlažnosti, ker imajo humidistati različne razpone;
- hitrosti reakcije humidistata oziroma mejne vrednosti, na katero reagira humidistat;
- načina, na katerega dosežemo razvlaževanje ali vlaženje; lahko je

postopno ali trenutno, odvisno od potrebne energije in od števila naprav, ki jih uporabljamo.

Humidistat mora namestiti oseba, odgovorna za nadzor klime, skupaj z električarjem.

Vlažilnike uporabljamo za zvišanje ravni relativne vlažnosti nad naravno povprečje v okolici. Količina vode, ki je v rezervoarju, zlahka izpareva.

Obstajajo tri osnovne vrste vlažilnikov, ki delujejo na osnovi izparevanja:

- z atomizacijo (nebulizacijo – centrifugalni vlažilnik),
- z ogrevanjem (izotermalni vlažilnik),
- s prezračevanjem (*hladni* parni vlažilnik).

Centrifugalni vlažilnik ima rotirajoči osrednji element, ki tvori vodni film in ga nato z lopaticami razbije. Glede na to, da proces navlaževanja poteka hitro, ti vlažilniki za muzeje niso priporočljivi, vendar so v nekaterih primerih lahko koristni (na primer v izrednih razmerah).

Pri izotermalnih vlažilnikih dve elektrodi, skozi kateri teče električni tok, segrevata vodo v rezervoarju in ta se spreminja v vodno paro. Vлага je v obliki pare, tako da ni nevarnosti, da bi se na predmetih nalagale mineralne snovi. V rezervoar lahko damo biocide,¹⁴ da preprečimo razvoj mikroorganizmov. Ne smemo pozabiti, da je zrak iz naprave vroč in da je kombinacija toplote in vlage za razvoj mikroorganizmov ugodna. V teh vlažilnikih ne smemo uporabljati destilirane vode, ker so soli nujne za prevajanje električnega toka. Če naprave ne uporabljamo, mora biti rezervoar prazen. Napravo lahko uporabimo tudi za dezinfekcijo prostora.

Hladni parni vlažilnik deluje tako, da vsesa zrak v vlažilnik, ta prehaja preko pene (oziroma higroskopne snovi), natopljene z vodo, in se tako navlaži, potem pa se izpiha v prostor. Tako dosežemo, da se zrak po naravni poti napolni z vlagο le do določene želene vrednosti, neželeno nasičenje pa je izključeno.

¹⁴ Biocidi so kemična sredstva, s katerimi preprečujemo nadaljnji razvoj mikroorganizmov, če jih redno uporabljamo. Dodajamo jih vlažnim materialom, predvsem organskim. Uporabljamo jih samo, ko je to nujno, po potrebi pa uporabimo ustrezno sredstvo iz skupine baktericidov, fungicidov, insekticidov ali herbicidov ter antibiotikov in encimov.

Na predmetih se minerali ne morejo nalagati, ker se zadržujejo na peni, vendar moramo peno redno čistiti. Modeli s filtri omogočajo tudi delno čiščenje zraka. Naprava je občutljivejša od drugih dveh tipov, ker ima več delov, v njej pa se lahko tvorijo mikroorganizmi (po čiščenju v vodo dodamo biocide). Nekateri modeli lahko povzročijo manjše znižanje temperature.

Razvlažilnike uporabljamo za zniževanje povprečne relativne vlažnosti v prostoru. Obstajata dva sistema za izsuševanje zraka:

- s kondenzacijo (ohlajanjem) in
- z absorpcijo.

Tretji sistem deluje tako, da zrak izsušujemo z višanjem temperature oziroma z ogrevanjem prostora, ker je v zaprtem prostoru absolutna vlažnost konstantna, relativna vlažnost pa se znižuje z višanjem temperature. Paziti moramo, da zvišanje temperature določenim predmetom (na primer predmetom na osnovi voska ali lepljenim predmetom) ne škoduje. Ta sistem je uporaben za večino zbirk ali pozimi v zelo hladni stavbi.

Pri razvlaževanju s kondenzacijo (ohlajanjem) prehaja vlažen zrak preko hladne površine (princip hlajenja v hladilniku), na kateri se pojavi kondenzacija, in tako odstranjujemo višek vlage, temperatura zraka pa se vrne na temperaturo okolice, ko prehaja preko ogrete površine. Ne pozabimo, da je pri prenosnih modelih rezervoar treba prazniti ročno, da je pri temperaturi, nižji od 10 °C, kondenzacija zmanjšana in razvlaževanje počasnejše ter da iz naprave izstopa ogret zrak. Kapaciteta naprave mora biti prilagojena klimatskim razmeram in velikosti prostora.

Pri razvlaževanju z absorpcijo potegnemo vlažen zrak z ventilatorjem v napravo in absorbent (na primer litijev klorid ali silica gel) vpije vodno paro. Razvlaženi zrak se vrne v prostor, absorbent pa se regenerira z ogrevanjem. Takih naprav v vlažni okolici ne smemo uporabljati dlje kot tri tedne, ker povišana vlažnost raztaplja absorbent in blokira proces.

Razvlaževanje z absorpcijo je primerno v okolju z nižjimi temperaturami in tam, kjer ni ogrevanja, razvlaževanje s kondenzacijo pa v toplih podnebnjih in/ali v prostorih, ki se umetno ogrevajo. To pomeni, da je izbira razvlaževalnika odvisna od povprečne temperature v prostoru, ki ga razvlažujemo.

Pri uporabi različnih naprav moramo upoštevati, da je nujno treba določiti želeni razpon ali optimalne vrednosti temperature in vrednosti relativne vlažnosti. Zagotoviti moramo dovolj močno napravo, ki lahko izpolni postavljene zahteve in prepreči nihanje relativne vlažnosti. Bolje je uporabiti več manjših enot kot eno veliko.

Vlažilnike, razvlažilnike in klimatske naprave nadziramo s humidistatom, ki stoji v bližini predmetov, s termohigrografom ali senzorjem pa v prostoru vedno kontroliramo relativno vlažnost.

Naprave morajo biti od predmetov oddaljene zato, da s tamponsko cono onemogočimo stik predmetov s suhim ali ogretim zrakom, ki izhaja iz naprave.

Ko vlažilnik deluje, je pomembno vzdrževanje potrebne količine vode za optimalno delo naprave. Pri razvlaževalniku je pomembno redno praznjenje posode, da preprečimo prekinitev delovanja naprave in s tem nihanje relativne vlažnosti. Naprav čez noč ne smemo izključiti.

Izbira in število

razvlaževalnikov sta odvisna od njihove kapacitete in prostornine zraka, tako da moramo upoštevati naslednje parametre: povprečno temperaturo, povprečno relativno vlažnost v prostoru in kapaciteto naprave ter to, kolikokrat se zrak v prostoru zamenja.

Klimatska naprava je sistem, ki regulira temperaturo v enem ali več prostorih, lahko pa ima tudi opcijo za prezračevanje. Deluje na principu kondenzacije in tako ohlaja prostor, ogreti zrak in kondenz pa odstranjuje iz prostora. Sestavljena je iz kompresorja in elementov za hlajenje in ogrevanje. Klimatske naprave predvsem uravnavajo temperaturo, s tem pa vplivajo tudi na nihanje relativne vlažnosti.

Pri nakupu moramo preveriti, ali kapaciteta naprave lahko zagotovi želene klimatske razmere oziroma optimalne razpone ali vrednosti temperature in relativne vlažnosti brez kratkotrajnih hitrih nihanj. Aparat mora delovati čim manj časa, da zmanjšamo porabo električne energije, zato moramo imeti zaprta vrata in okna in napravo naravnano na minimalno jakost. Z rednim čiščenjem filtra preprečimo vdor prahu v prostor. Klimatske razmere v prostoru moramo nenehno spremljati in bolje je uporabiti več manjših enot kot eno veliko. Občutljive predmete postavimo v vitrine ali zaprte omare.

Klimatske naprave v muzejih pogosto uporabljamo zaradi udobja ljudi (split sistemi). Pri tem ne upoštevamo posledic zaradi spremembe ravni relativne vlažnosti v prostoru, v katerem so zbirke, niti nihanj relativne vlažnosti, ki ga povzročata vkloppljanje in izkloppljanje klimatske naprave.

Centralni sistem za nadzor klimatskih razmer ali HVAC (*heating, ventilating, air conditioning*) je sistem, ki je v celotni stavbi ali v njenem delu namenjen za nadzor in regulacijo temperature in relativne vlažnosti, za čiščenje zraka, filtracijo in prezračevanje.

Centralni sistem je sestavljen iz centralne enote za obdelavo zraka, distribucijskega sistema (cevi, ventili) in dodatne opreme. Centralna enota ima nekaj posameznih enot, v katerih se posebej obdeluje zrak, in sicer reciklirani zrak iz prostora in zrak iz zunanosti, ki se ogreva, vlaži ali razvlažuje in potem ponovno segreva.

Centralni sistemi se razlikujejo glede na način hlajenja zraka:

- element za hlajenje z izparevanjem vode,
- element za hlajenje s kroženjem hladne vode,
- neposredni ekspanzijski sistem na osnovi freona ali amonijaka.

Pri sprejemanju odločitve o vgradnji klimatskega sistema moramo upoštevati stroške nakupa, stroške montaže in vzdrževanja sistema, ki so odvisni od vrste sistema in načina distribucije zraka v njem, od strukturnih modifikacij, ki jih moramo izvesti, kapacitete stavbe, želenih ravni relativne vlažnosti, izolacije stavbe in števila izmenjav zraka v prostoru, od česar je odvisna količina prahu, ki prihaja v prostor. Montaža klimatskega sistema je povezana z večjo porabo električne energije. Pri tem moramo upoštevati, da je pri manjšem razponu zahtevane relativne vlažnosti sistem bolj obremenjen, možnost okvare pa večja, ker sistem deluje pod pritiskom, ki je večji od zunanjega.

Vedeti moramo, da namestitev klimatskega sistema v stavbi, ki prej ni bila klimatizirana, lahko povzroči kondenzacijo in dvig vlage v stenah.

Klimatski sistemi umetno spreminjajo normalne klimatske razmere velike prostornine zraka, in če se sistem pokvari, se hitro vrne prejšnje stanje, ki najpogosteje ne ustreza zadanim parametrom.

Okvare najpogosteje nastanejo zaradi slabe izolacije stavbe, slabe napeljave, človeške napake ali prekinitev napajanja, spreminjanja parametrov, mehanskih okvar ...

Vedeti moramo, da s centralnim sistemom za nadzor klime ne moremo zagotoviti lokaliziranega nadzora razmer, nadzorujemo pa klimo v prostorih, kjer to sploh ni potrebno.

Vrste virov svetlobe

Žarnica z žarilno nitko (inkandescentna žarnica).

Svetloba nastane tako, da električni tok teče po trdni snovi (žici iz volframa). Žarnice imajo lahko različne oblike, prozorno ali matirano steklo in imajo različne moči.

Prednosti: nabavna cena je nizka, sevajo celoten spekter barv in imajo malo ultravijoličnega sevanja.

Pomanjkljivosti: visoka raven infrardečega sevanja, kratka življenjska doba (približno 1000 ur) in nizek izkoristek. Inkandescentna žarnica porabi za isto količino svetlobe 5- do 10-krat več energije od fluorescenčne sijalke.

Električno energijo pretvarjajo v toploto, in če jih uporabljamo v majhnem prostoru (na primer v vitrini), lahko precej povišajo temperaturo, zato moramo uporabljati druge zunanje vire svetlobe.

Halogenska žarnica (inkandescentna žarnica) ima v sredini žico iz volframa (ali drugih na temperaturo odpornih kovin), napolnjena pa je z inertnim plinom in določeno količino halogenega plina. Te žarnice imajo lahko različne oblike, prozorno ali matirano bučko in različne moči.

Z možnimi posledicami

za zbirke zaradi okvare klimatskega sistema morajo biti seznanjeni vsi zaposleni. Za primer okvare moramo narediti akcijski načrt, v katerem določimo odgovorne za zaščito najbolj občutljivejših zbirk ali zahtevamo premestitev teh zbirk v že pripravljen prostor, določimo pa tudi režim odpiranja in zapiranja oken glede na okoliščine. Sistem mora delovati neprestano. Centralni klimatski sistem ne more rešiti težav pri nadzoru klime brez dobro izolirane stavbe, brez napeljav, ki so prilagojene potrebam posebnih zbirk, ter brez konstantnega spremljanja in izobraževanja osebja. Določiti moramo osebo, ki bo odgovorna za klimatski sistem in za stik s tehniko, zadolženimi zanj.

Prednosti: zajemajo celoten spekter barv, imajo daljšo življenjsko dobo (od 2000 do 4000 ur) in so učinkovitejše od klasičnih inkandescentnih žarnic.

Pomanjkljivosti: visoka raven infrardečega sevanja.

Fluorescenčna sijalka. Svetlobo dobimo tako, da se ena ali več plasti fluorescenčne snovi aktivira zaradi delovanja ultravijoličnega sevanja in električne energije (hlapi živega srebra z inertnimi plini zaradi električnega praznjenja oddajajo ultravijolično sevanje, ki ga fosfor v notranjosti steklene cevi spremeni v vidno svetlobo). Sestava fluorescenčnih snovi vpliva na barvo svetlobe. Po obliki so lahko linearne, krožne ali kompaktne – skupaj je povezanih več manjših cevi.

Prednosti: grejejo se manj kot inkandescentne žarnice, porabijo manj energije in imajo daljšo življenjsko dobo.

Pomanjkljivosti: imajo slabši indeks barvne reprodukcije kot žarnice na žarilno nitko.

Sijalka na razelektrenje (npr. metalhalogenidne ali natrijeve). Svetlobo dobimo na podoben način kot pri fluorescenčnih sijalkah in vidno svetlobo oddajajo v širokem spektru. Ločimo visoko- in nizkotlačne sijalke. Uporabljamo jih za osvetlitev večjih površin in muzejske okolice (živosrebrne in natrijeve sijalke, ki imajo CRI pod 65), lahko pa tudi za osvetlitev predmetov v muzejih, saj je indeks barvne reprodukcije barv pri določenih tipih sprejemljiv za potrebe muzejev (najboljše metalhalogenidne sijalke imajo CRI 80 in več).

LED-viri svetlobe: uporabljajo se v elektronski opremi, igračah, prometnih znakih. Nimajo žice, ki bi lahko pregorela, svetloba pa nastane tako, da tok steče skozi diodo, ki je sestavljena iz dveh različnih polprevodnikov.

Prednosti: so izredno učinkovite, življenjska doba je več kot 50.000 ur, odporne so na tresljaje, ne sevajo ultravijoličnega sevanja in se ne segrevajo.

Pomanjkljivosti: neustrezen indeks barvne reprodukcije pri LED-trakovih; upadanje intenzitete svetilnosti tekom življenjske dobe.

Optična vlakna. Sama po sebi niso vir svetlobe. Uporabljajo se za prenos svetlobnega sevanja, tako da je lahko vir svetlobe oddaljen od predmeta. S tem preprečimo segrevanje predmetov, prav

tako pa do predmetov pride zelo malo ultravijoličnega sevanja.
V svetlobni škatli običajno uporabljamo halogenske žarnice z reflektorjem ali visokotlačne sijalke.

Pomanjkljivosti: upadanje intenzitete svetilnosti tekom življenjske dobe; tehnično zahtevna namestitve; visoki začetni stroški.

Vir svetlobe	Vidna svetloba	Ultravijolično sevanje	Infrardeče sevanje	Temperatura barve	CRI (Ra)	Delovanje v urah
sonce	močno	močno	močno			
volframova žarnica	šibko	šibko	močno	2700 K	100	1000
halogenska žarnica	močnejše kot pri inkandescentni žarnici	srednje	močno	3000 K	100	2000–4000
fluorescenčna sijalka	močnejše kot pri inkandescentni žarnici	šibko do srednje	šibko ali močno, odvisno od tipa	odvisno od tipa – od 2700 do 6500 K	odvisno od tipa – najboljše žarnice 927, 930, 940, 965 (serija 900)	12500–16000
sijalka na razelektrenje					80 in več (določene metalhalogenidne)	
LED-žarnica	močno	šibko	šibko	5500–8000 K	85 in več	
optična vlakna	šibko	šibko	šibko			

Različne vrste vira svetlobe in njihove lastnosti

 LITERATURA

ASHRAE, 2002, *Applications Handbook, Museums, Libraries and Archives*, Chapter 21 Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

Boersma, F. et al., 2007, *Unravelling Textiles*, London: Archetype Publications Ltd.

Environmental and Display Guidelines for Paintings, 1993, CCI Notes 10/4, Ottawa: Canadian Conservation Institute.

Guillemard, D., Laroque, C., 1999, *Manuel de Conservation Préventive*, Dijon: OCIM.

Guild, S., MacDonald, M., 2006, *Mould Prevention and Collection Recovery: Guidelines for Heritage Collections*, Technical Bulletin No. 26, Ottawa: Canadian Conservation Institute.

Guichen, G., Tapol, B., 1998. *Climate Control in Museums*, Rome: ICCROM.

Michalski, S., 2000, *Guidelines for Humidity and Temperature in Canadian Archives*, Technical Bulletin No. 23, Ottawa: Canadian Conservation Institute.

Stolow, N., 1987, *Conservation and exhibitions: packing, transport, storage, and environmental considerations*, London: Butterworths.

Tétreault, J., 2003, *Airborne Pollutants in Museums, Galleries, and Archives: Risk Assessment, Control Strategies, and Preservation Management*, Ottawa: Canadian Conservation Institute.

Thomson, G., 1978, *The Museum Environment*, London: Butterworth Heinemann.

Foucault, G., 2005, *Eclairage des biens culturels*, le cours sur l'éclairage Master de Conservation Préventive, Paris : Université Paris I, Panthéon Sorbonne.

Framework for Preservation of Museum Collections, 1994, Ottawa: Canadian Conservation Institute.

Hatchfield, B. P., 2002, *Pollutants in Museum Environment*, London: Archetype Publications Ltd.

CIE 157, 2004, *Technical Report, Control of Damage to Museum Objects by Optical Radiation*, International Commission on Illumination.

Corr, S., 2000, *Caring for Collections, A Manual of Preventive Conservation*, Dublin: Heritage Council.

Spletne strani

Guidelines for Environmental Control, <http://www.culturepacific.org/en/bm/bm~doc/guidelines-for-environmental-control.pdf>.

Museum Handbook, Part I, Museum Collections, <http://www.cr.nps.gov/museum/publications/handbook.html>, National Park Services, Canada.

Museum Microclimates, <http://www.nationalmuseet.dk/sw30434.asp>, Copenhagen: The National Museum of Denmark.

Experts' Roundtable on Sustainable Climate Management Strategies, http://www.getty.edu/conservation/science/climate/paper_michalski.pdf.

Ten agents of deterioration, <http://www.cci-icc.gc.ca/crc/articles/mcpm/index-eng.aspx>, Ottawa: Canadian Conservation Institute.

Conservation Physics, <http://www.padfield.org/tim/cfys/index.php>.